

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto  
Puunjalostustekniikan laitos

Jari Martovaara

## VESIPOHJAISET SERIPAINOVÄRIT

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 12.4.1994.

Työn valvoja

Professori Pirkko Oittinen

Työn ohjaaja

DI Pekka Pätynen

**Tekijä:** Martovaara, Jari Tapani  
**Työn nimi:** Vesipohjaiset seripainovärit

**Päivämäärä:** 12.4.1994

**Sivumäärä:** 69

**Osasto:** Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto

**Professuuri:**

**Laitos:** Puunjalostustekniikan laitos

Aut-75 Graafinen tekniikka

**Työn valvoja:** Professori Pirkko Oittinen

**Työn ohjaaja:** DI Pekka Pätynen

Tämän työn tarkoituksena on selvittää uusien vesipohjaisten seripainovärien ominaisuuksia ja niiden käyttömahdollisuuksia tuotannossa. Testattaviksi väreiksi hankittiin kahdeksan vesipohjaista ja kolme liuotinpohjaista seripainoväriä yhteensä kuudelta eri valmistajalta. Tavoitteena oli löytää käyttöalue, jossa liuotinpohjaiset värit voidaan korvata vesipohjaisilla seripainoväreillä.

Työn kirjallisuusosassa käsitellään katsauksenomaisesti seripainon neljää prosessivaihetta: reproduktiota, kaavionvalmistusta, painamista ja jälkikäsittelyä. Seripainoprosessin ja loppukäytön asettamia vaatimuksia väreille käsiteltiin reologisten, pintaenergeettisten, kuivumis-, painettavuus- ja optisten ominaisuuksien kannalta. Seripainovärien koostumusta tutkittiin toisaalta raaka-aineiden ja toisaalta vesi- ja liuotinpohjaisten värien komponenttien kannalta.

Kokeellisessa osassa värit testattiin Teknillisen korkeakoulun graafisen tekniikan laboratoriossa. Väreistä mitattiin reometrillä reologiset ominaisuudet ja termovaällä koostumukselliset ominaisuudet. Tämän jälkeen vesipohjaisilla väreillä suoritettiin pienimittakaavaiset painatukset ns. käsipöydällä. Painojäljestä mitattiin kuiva- ja kosteahankauskesto sekä optiset ominaisuudet. Saatujen tulosten perusteella valittiin kaksi vesipohjaista väriä tuotantomittakaavaisiin painatuksiin. Näiden lisäksi painettiin vertailuvärisarjaksi yksi kohdeyrityksessä yleisesti käytössä ollut liuotinpohjainen nelivärisarja.

Vesipohjaisten seripainovärien havaittiin poikkeavan toisistaan suuresti reologisten ominaisuuksien osalta. Densiteetin, kontrastin, värillisyyden ja pisteprosenttien muutoksen osalta vesipohjaiset värit olivat vertailukelpoisia liuotinvärien kanssa. Vesipohjaisten värien haittapuolena on selvästi alhaisempi kiilto verrattuna liuotinväriin. Samoin on otettava huomioon vesipohjaisten värien huonompi kosteudenkesto. Jälkikäsittelyn osalta vesipohjaiset värit tarjoavat laajemmat mahdollisuudet. Mm. nuuttauksessa liuotinvärit murtuivat vesipohjaisia helpommin. Työssä suoritettujen laboratorio- ja tuotantokoepainatusten perusteella voidaan todeta, että tietyillä vesipohjaisilla väreillä voidaan korvata osa nykyään liuotinpohjaisilla väreillä tehtävistä painotöistä. Vesipohjaisilla väreillä työskenneltäessä on varmistuttava, että käytetään vedenkestävää kaaviomateriaalia. Mikäli lopputuotteelta vaaditaan kosteudenkestoa tai painoalusta on muovimateriaalia, on syytä käyttää enemmän liuotinaineita sisältäviä värejä tai kokonaan liuotinpohjaisia värejä.



## ALKULAUSE

Kiitän diplomityöni toimeksiantajan Kirjapaino Lönnberg Oy:n toimitusjohtajaa Pekka Pätystä työni alkuun saattamisesta ja työn aikana saamastani tuesta sekä koko osasto Mainos ja Etiketin henkilökuntaa myönteisestä asenteesta työtäni kohtaan sekä työskentelyn aikana viljellystä positiivisesta huumorista. Lämmin kiitos myös vaimolleni Annelle työhöni antamastaan tuesta. Työn ohjauksesta kiitän professori Pirkko Oittista sekä Teknillisen Korkeakoulun graafisen tekniikan laboratorion henkilökuntaa ja diplomityöntekijöitä ystävällisestä työskentely-ympäristöstä ja avusta.

Helsingissä 10.4.1994



Jari Martovaara

# SISÄLLYSLUETTELO

## KIRJALLISUUSOSA

1	JOHDANTO.....	1
2	SERIPAINOMENETELMÄ.....	1
2.1	Reproduktio.....	3
2.2	Kaavionvalmistus.....	3
2.3	Painaminen.....	5
2.4	Jälkikäsittely.....	6
3	SERIPAINOVÄRIEN OMINAISUUDET.....	7
3.1	Reologiset ominaisuudet.....	7
3.2	Pintaenergeettiset ominaisuudet ja kuivuminen.....	11
3.3	Painettavuusominaisuudet.....	13
3.4	Optiset ominaisuudet.....	15
4	SERIPAINOVÄRIEN KOOSTUMUS.....	15
4.1	Raaka-aineet.....	15
4.2	Liutinpohjaiset värit.....	18
4.3	Vesipohjaiset värit.....	20
5	VESIPOHJAISET VÄRIT YMPÄRISTÖNSUOJELUN NÄKÖKULMASTA TARKASTELTUINA.....	23

## KOKEELLINEN OSA

6	KOKEIDEN LÄHTÖKOHTA JA TAVOITTEET.....	26
6.1	Kohdeyrityksen esittely.....	26
6.2	Kokeiden tavoitteet ja käytetyt materiaalit.....	27
7	PAINOVÄRIEN OMINAISUUDET.....	29
7.1	Reologiset ominaisuudet.....	29
7.1.1	Viskositeetti.....	29
7.1.2	Tiksotropia.....	38
7.1.3	Juoksuraja ja pituus.....	40
7.1.4	Viskoelastiset ominaisuudet.....	40
7.2	Kuivumisominaisuudet.....	42
7.3	Optiset ominaisuudet.....	48
7.4	Koostumukselliset ominaisuudet.....	50
8	KOEPAINATUKSET TUOTANTOPAINOKONEELLA.....	52
8.1	Täyspeitteisen pinnan densiteetti.....	54
8.2	Rasteripisteprosenttien muutokset.....	55
8.3	Kontrasti.....	56
8.4	Värillisyyys ja kiilto.....	57
8.5	Kuivumisominaisuudet.....	59
8.6	Mittamuutokset ja murtuminen nuutauksessa.....	61
9	TULOSTEN TARKASTELU.....	62
10	YHTEENVETO.....	65
	LÄHDELUETTELO.....	67

LIITTEET 3 kpl

## 1 JOHDANTO

Teknisen kehityksen myötä ja ympäristönäkökohtien merkityksen kasvaessa on seripainolle kehitetty uusia vesipohjaisia painovärejä perinteisten liuotinpohjaisten värien rinnalle. Vesipohjaisia värejä on ollut seripainoille tarjolla jo parikymmentä vuotta, mutta vasta viimeaikoina ovat värit kehittyneet sille tasolle, että niiden laajamittainen hyödyntäminen tuotannossa on tullut mahdolliseksi. Vesipohjaisia värejä on haihtumalla kuivuvia sekä UV-kuivuvia. Osa väreistä on täysin vesipohjaisia ja osa vesiohenteisia, joissa kantofaasin orgaanisen liuottimen osuus on suurempi. Uusista väreistä käytetään tässä työssä nimitystä vesipohjaiset värit eikä vesivärit siksi, että vesivärit ovat puhekielessä vakiintuneet tarkoittamaan askartelukäyttöön tarkoitettuja sivellinvärejä.

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää uusien vesipohjaisten seripainovärien ominaisuuksia sekä niiden teknisiä ja taloudellisia mahdollisuuksia korvata liuotinvärit tuotantokäytössä. Tutkimuksessa selvitetään värien suorituskykyä, minkä tyyppisiin painotöihin vesipohjaiset värit soveltuvat sekä mitä seripainoprosessissa on otettava huomioon, jotta liuotinvärien tilalle voidaan ottaa vesipohjaisia värejä. Työssä tutkitaan myös pienentävätkö vesipohjaiset painovärit haitallista ympäristökuormitusta. Vesipohjaiset värit sisältävät huomattavasti vähemmän ympäristölle haitallisia kemikaaleja kuin liuotinvärit. Ympäristön kuormittamista koskevat määräykset tulevat todennäköisesti tiukentumaan muutaman vuoden sisällä EU-direktiivien määräämälle tasolle. Työssä selvitetään mitä muutoksia lainsäädännössä on odotettavissa ja miten ne kannattaa etukäteen ottaa huomioon.

Tässä työssä keskityttiin tutkimaan seripainoprosesseja, joilla painetaan kuitupohjaisille alustoille eli paperille, kartongille ja pahville, sekä erilaisille muoveille, joista yleisimmin käytettyjä ovat PVC ja polyeteeni. Esimerkiksi kankaiden ja teollisuuden seripainosovellusten (kuten piirilevyjen) painamiseen käytetyt prosessit ja materiaalit poikkeavat huomattavasti tässä työssä käsitellyistä. Vesipohjaiset painovärit vaativat kuitupohjaisilta alustoiltaan erilaisia ominaisuuksia kuin liuotinvärit. Näitä ominaisuuksia ovat mm. kosteudenkesto käyristymättä, parempi pintalujuus kosteana sekä parempi märkäopasiteetti. Näitä paperiin liittyviä ominaisuuksia ei kuitenkaan tässä työssä käsitellä. Työn tavoitteen ja ymmärtämisen kannalta keskeisiä seripainon yksikköoperaatioita sekä värien ominaisuuksia ja koostumusta on käsitelty lyhyesti työn teoriaosassa.

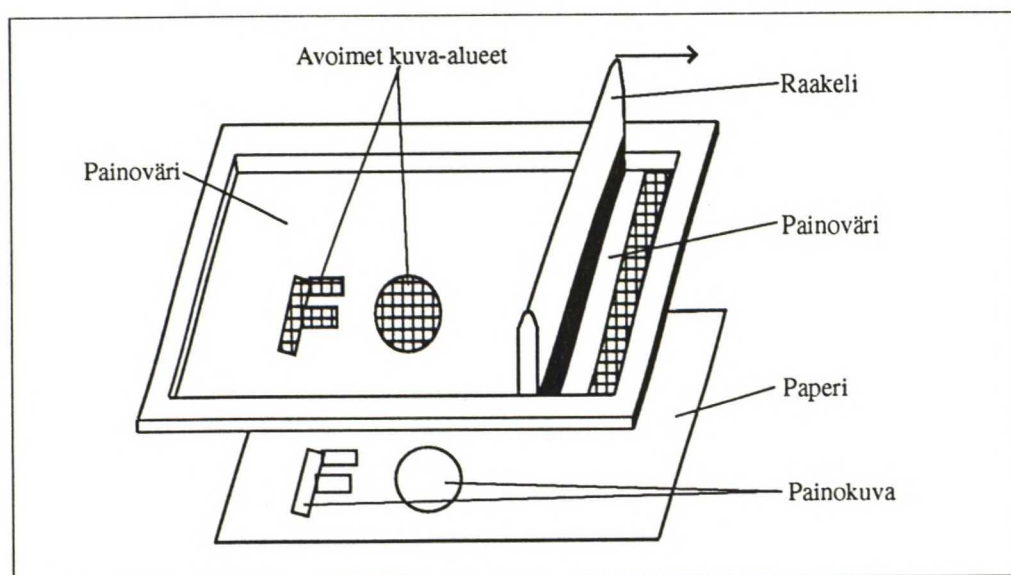
## 2 SERIPAINOMENETELMÄ

Silkki- eli varsinaiselta nimeltään seripainanta on tietävästi vanhin painomenetelmä. Se on lähtöisin Kiinasta ja Egyptistä vuonna 700 eKr. Eurooppaan se tuli 1930-luvulla ja Suomeen



noin kymmenen vuotta myöhemmin. Silkkipainannon uskotaan yleisesti saaneen nimensä siitä, että menetelmällä painetaan vain silkille. Silkkipainanta on kuitenkin saanut nimensä entisaikaan käytetyistä seulakangasmateriaaleista, jotka olivat silkkiä. Silkin ovat miltei kokonaan syrjäyttäneet synteettiset materiaalit, kuten polyamidi-, polyesteri- ja metallikuidut. Nykyään painomenetelmästä käytetäänkin lähes yksinomaan nimitystä seripainanta.

Seripainomenetelmä perustuu seulakankaasta ja valonherkstä materiaalista valmistettuun kaavioon, jonka läpi painoväri puristetaan raakelin avulla. Seulakangas on yleensä valmistettu polyesterikuiduista tai joskus polyamidi- tai metallikuiduista, mutta harvoin kuitenkaan enää silkistä sen huonon kestävyysden takia. Valonherkkä materiaali voi olla emulsiota tai filmiä. Seulakankaan ja valonherkän materiaalin muodostamaa kokonaisuutta, johon painokuva valotetaan, kutsutaan painokaavioksi. Kuvassa 1 on esitetty seripainomenetelmän periaate.



Kuva 1. Seripainomenetelmän periaate.

Teollisuudessa menetelmällä painetaan mm. elektronisia piirejä, keraamisia siirtokuvia, muovipakkauksia, purkkeja, tynnyreitä, verhoja, kankaita, lakanoita ja vaatteita. Koska väri pakotetaan painokaavion läpi raakelilla, ei painoalustan ja kaavion välillä tarvitse olla kovaa puristusta. Tästä syystä menetelmä soveltuu painettaessa alustoille, jotka eivät kestä kovaa puristusta. Kaupalliset seripainot tarjoavat asiakkailleen tuotteita lähinnä mainos- ja myyinnedistämistarkoituksiin. Näitä ovat mm. julisteet, myymälätelineet, esitekotelot, pakkauslaatikot, liikennevälinemainonta, maantievarsitaulut, mainostolpat ja -pilarit, muovikansiot ja erilaiset tarrat normaaleista PVC-tarroista teollisuuden merkintämateriaaleihin. Myös aihiolakkaus, jossa lakkapinta peittää vain osan painokuvasta, on seripainolle tyypillinen alue.

Seripainanta ei niinkään kilpaile muiden painomenetelmien kanssa, vaan omalla panoksellaan ja monipuolisuudellaan täydentää graafista kenttää. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan tarkemmin seripainon eri yksikköoperaatioista.

## 2.1 Reprodunktio

Filmien valmistus tehdään seripainossa normaalilla reproduktiotekniikalla, mutta seripainofilmeissä on otettava huomioon muutamia painomenetelmän erikoispiirteitä. Kaavionvalmistuksessa käytettävät seripainofilmit ovat positiivifilmejä, joissa valonherkän kalvon tulee olla filmin ns. "luettavalla" puolella. Rasteritiheydeltään yli 35 linjaa/cm kuvia on seripainossa vaikea painaa konventionaalisilla väreillä, joten ne on painettava UV-väreillä. Käytännössä 24 linjaa/cm on hyvin yleinen rasterikuvien linjatiheys tuotannossa /28/.

Koska seripainolle on tyypillistä pisteen pieneneminen haihtuvilla väreillä painettaessa, on rasteripisteiden koon reproduktiofilmeissä oltava yleensä noin 5-10% suurempi kuin haluttu lopputulos. Näin ennakoidaan painatusvaiheessa tapahtuva pisteprosentin lasku /9,28/. Pisteprosentin lasku aiheutuu voimakkaasti haihtuvien värien kuivumisesta seulan aukkoihin, ja siten värit pienentävät seulan vapaata pinta-alaa, josta väri siirtyy painoalustalle. Myös kompaktipintojen allemenojen tulee olla muita painomenetelmiä suuremmat, jotta pintojen saumakohtaan ei jää painamatonta aluetta. Tämä johtuu seripainon heikommasta kohdistuksen pysyvyydestä verrattuna esimerkiksi offset-menetelmään.

## 2.2 Kaavionvalmistus

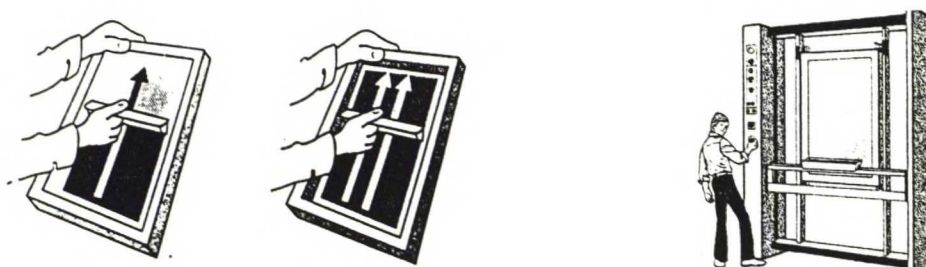
Painokaavion siis muodostavat painoseula ja siihen kiinnitettävä valonherkkä materiaali. Painoseulan seulakankaan ominaisuudet vaikuttavat suuresti lopulliseen painojälkeen ja -tulokseen. Tärkein seulakankaan ominaisuus on kankaan kudontatiheys. Tiheydet vaihtelevat noin kahdesta kahteensataan kuituun tuumalla. Kuidun paksuus ilmoitetaan kirjainsymbolilla tiheysluvun perässä esim. 140 T. Paksuuksia on neljä; S=ohut, M=keskipaksu, T=paksu ja HD=erittäin paksu. Kankaan tiheys ja kuidun paksuus määrittelevät seulan avoimen pinta-alan ja paksuuden, jotka taas vaikuttavat paperille siirtyvään värimäärään /40/.

Painojälkeen vaikuttavia seulakangasmuuttujia edellä mainitun lisäksi ovat kuidun materiaali ja väri, kudontatapa ja kankaan kiristys kehykseen. Kuitu voi yleisimmän polyesterin lisäksi olla esim. polyamidia tai metallia. Seulakankaita, joissa joka toinen kuitu on hiilikuitua, käytetään vähentämään painatuksessa esiintyvää staattista sähköä. Muovikuidut ovat joko mono- tai multifilamenttikuituja, eli ne koostuvat joko yhdestä tai useammasta ohuesta kuidusta. Värjättyä seulakangasta käytetään kopiointimenetelmissä, joissa valotus tehdään suoraan seulakankaalle. Näin voidaan vähentää valon heijastumista seulan kuiduista. Värjättyt kuidut ovat yleensä



keltaisia tai oransseja. Pääkudontatapoja on kaksi, "plain weave" ja "twill weave". Plain weave:ssa kuitu kulkee vuorotellen yhden risteävän kuidun yli ja seuraavan ali. Twill weave:ssa sensijaan kuitu kulkee vuorotellen yhden kuidun yli mutta kahden seuraavan ali. Plain weave päästää paperille vähemmän väriä, koska seulan vapaa pinta-ala on pienempi kuin twill weave:ssa. Plain weave on kuitenkin kalliimpi kudontamenetelmä kuin twill weave. Paperille pääsevää väriä voidaan vähentää myös käyttämällä OSC- eli toiselta puolelta kalanteroitua seulakangasta. Seulakankaan tulisi aina olla mahdollisimman kireällä kehyksessään. Alhainen kireys heikentää kohdistuksen pysyvyyttä /9,40/.

Kopiointimenetelmiä on kolmea perustyyppiä: suora, epäsuora ja puolisuora. Vesipohjaiset painovärit vaativat suoran tai puolisuoran menetelmän, sillä näillä menetelmillä valmistetut kaaviot ovat vedenkestäviä. Suoraprosessissa valonherkkä materiaali on emulsiota. Nykyiset emulsiot ovat pääsääntöisesti kaksivaikutteisia diatsopolymeeriemulsioita. Emulsiota levitetään seulakankaalle lopputuotteesta riippuen sopivan paksuinen kerros. Levitys tapahtuu joko käsin tai koneellisesti. Koneellisessa levityksessä saadaan tasaisempi laatu kuin käsin. Emulsiota kaadetaan kalvotuskouruun, joka painetaan kiinni seulakankaaseen ja kouru vedetään seulan alareunasta ylöspäin seulan ollessa pystyasennossa (kuva 2). Näin kourusta seulakankaalle valuva emulsio jättää tasaisen kalvotuskerroksen. Ensin kalvotetaan seulan alapuoli (paperipuoli) ja sitten yläpuoli (raakelipuoli). Näin saadaan tasainen pinta raakelipuolelle, mikä vaikuttaa kaavion kestävyys. Kalvotuskerroksia toistetaan riittävä määrä riippuen lopputuotteen vaatimuksista. Märkä emulsiokerros kuivataan ja valotetaan filmipositiivin kanssa kontaktissa ja kehitetään vedellä. Lopputulokseen vaikuttavia muuttujia ovat kalvotuskertojen määrä, kalvotusnopeus ja -paine sekä kalvotuskourun hionta, jotka kaikki vaikuttavat seulakankaalle syntyvän kerroksen paksuuteen.



Kuva 2. Seripainoseulan käsi- ja konekalvotus.

Epäsuora menetelmä perustuu filmin käyttöön. Tiedyt seripainofilmit ovat vielä nykyään tarkempia ja yleensä kaikki filmit laadultaan tasaisempia kuin kalvot, joita emulsioilla voidaan valmistaa. Filmien resoluutio ylittää noin 125  $\mu\text{m}$ :iin ja niiden paksuus vaihtelee välillä 0,25-0,5 mm suojakalvo mukaanlukien /9,40/. Filmi leikataan sopivan kokoiseksi ja valotetaan. Valotuksen jälkeen filmi kehitetään 35%:n vetyperoksidiliuoksella kehityskoneessa ja



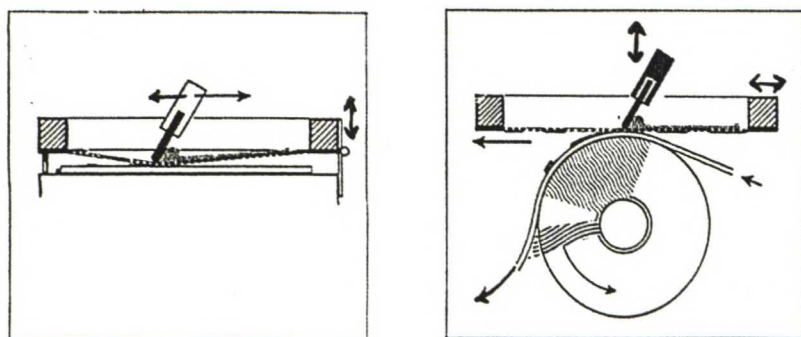
huuhdellaan vedellä. Kehityksen jälkeen filmi kohdistetaan märkänä seulalle, johon se tarttuu. Seula kuivataan, reuna-alueet täytetään täyteaineella ja filmin läpinäkyvä taustakalvo poistetaan.

Puolisuorassa menetelmässä käytetään ns. kapillaarifilmiä. Menetelmä on kahden edellämainitun välimuoto. Kapillaarifilmi on tavallisia filmejä kestävämpi, ja sen etuna on myös vedenkesto mutta haittapuolena korkeampi hinta. Filmi kiinnitetään ensin kasteltuun seulaan, jonka jälkeen se kuivataan ja valotetaan seulaan kiinnitettynä. Kehitys suoritetaan vetyperoksidiliuoksella.

Sekä suorassa että puolisuorassa menetelmässä kaavio valotetaan polyesterikankaaseen kiinnitettynä. Heikkoutena näissä menetelmissä on valon heijastuma seulakankaan kuiduista, mikä aiheuttaa epätarkkuutta kopiointiin. Ilmiötä voidaan vähentää käyttämällä valkoisen seulakankaan asemasta värjättyä, esimerkiksi keltaista kangasta. Keltaisissa kuiduissa valon heijastumat ja johtuminen ovat valkoisia kuituja pienemmät ja värjättyt kuidut aiheuttavat siten vähemmän pisteen kasvua valotuksessa. Keltainen kangas vaatii n. 50-80 % pidemmän valotusajan kuin valkoinen kangas.

### 2.3 Painaminen

Seripainokoneet ovat joko puoli- tai täysautomaattisia, taso-, sylinteri- tai rullapainokoneita. Taso- ja sylinterikoneiden toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3. Tasokoneet asettavat hyvin vähän vaatimuksia painoalustalle ja niillä voidaan painaa useille materiaaleille, kuten paperille, pahville, muoville, kartongille, tarroille, metallille, lasille, puulle ja kankaalle. Sylinterikoneet ovat tasokoneita nopeampia, mutta koska niissä painoalusta pakotetaan taipumaan sylinterin ympärille, sylinterikoneen käyttö rajoittaa materiaalin paksuutta ja jäykkyyttä. Arkkikoneiden puolella yksivärisuus on edelleen yleistä. Syynä tähän on monivärikoneiden kuivatusyksikön suuri tilantarve. Puoliautomaattisilla koneilla päästään painonopeuksiin 300 - 800 arkki/h ja automaattisylinterikoneilla jopa 5000 arkki/h. Pienimuotoisiin töihin voidaan käyttää ns. käsipöytiä, joissa alistus, raakelin veto ja arkin luovutus tapahtuvat käsin /47/.



Kuva 3. Seripainon taso- ja sylinteripainokoneen periaate.

Ennen painatusta väri ohennetaan painotapahtumaan sopivaksi. Väri ohennetaan sille soveltuvalla ohenteella viskositeetiltaan oikeaksi. Ennen ohennusta värin sideaineet ja pigmentit ovat partikkeleina hyvin lähellä toisiaan, koska läsnäoleva liuotinmäärä on vähäinen. Lisättäessä väriin ohenninta, jonka viskositeetti on alhainen ja molekyylien vapausaste suuri, saadaan värin pigmentti- ja sideainepartikkelit etäämmäksi toisistaan ja värin viskositeetti laskee.

Kun painoväri on ohennettu painatukseen sopivaksi, kiinnitetään painokehys koneeseen ja kehys kohdistetaan. Tämän jälkeen väriä kaadetaan seulalle ja aloitetaan painaminen. Koneen värinlevitystela levittää värin seulan pinnalle ja toiseen suuntaan liikkeessaan raakeli puristaa värin seulan läpi paperille. Väriä siirtyy paperille kaavion paksuudesta, seulan tiheydestä ja raakelin säädöistä riippuen jopa noin 40  $\mu\text{m}$  kerros /23/. Painotulokseen vaikuttavia muuttujia ovat painonopeus, raakelikumin kovuus ja hionta, raakelikulma, raakelin puristuspaine sekä värinlevittäjän korotus /40/. Nämä muuttujat vaikuttavat paitsi painojäljen laatuun, myös kaavion kestävyYTEEN. Painoalustalle kaavion läpi tunkeutuva värimäärä on verrannollinen raakelikumin alaspäin suuntautuvaan painekomponenttiin. Paineekomponenttia kasvattavat kovempi ja teräväreunaisempi raakelikumi, pienempi raakelikulma sekä luonnollisesti raakelin korkeampi puristuspaine. Värinlevittäjän suurempi korotus levittää seulalle paksumman värikerroksen, jolloin raakelilla on mahdollisuus puristaa seulan läpi suurempi värimäärä. Pienemmällä painonopeudella taas osa väristä ehtii tunkeutua huokoisen painoalustan sisään, jolloin värinsiirtotapahtumassa voi siirtyä suurempi värimäärä. Painatuksessa siirtyvää värimäärää vastustaa värin sisäinen viskoottinen vastus, seulan aukkojen pieni vapaa pinta-ala ja ohut kaaviopaksuus.

Painovärin kuivuminen painoseulaan asettaa rajan seripainon rasteritiheydelle. Jos rasteri on hyvin tiheä (yli 30 l/cm), kuivuu painoväri seulan pieniin aukkoihin tukkien ne jo lyhyissäkin pysähdyksissä. UV-kuivuvat värit tuovat tähän parannusta, sillä ne eivät kuivu seulaan kiinni. Niiden haittapuolena on kuitenkin kalleus ja lisäksi ne aiheuttavat joillekin ihmisille allergiaa. UV-väreillä voidaan päästä tuotantokäytössäkin yli 50 l/cm rasteritiheyksiin, kun taas haihtuvilla väreillä on maksimitiheys noin 35 l/cm /28/.

## 2.4 Jälkikäsitteily

Seripainon jälkikäsitteilyoperaatiot ovat hyvin samankaltaisia kuin muissakin painomenetelmissä. Miltei kaikki painetut arkit leikataan. Myös nuuttaus ja muotostanssaus ovat yleisiä operaatioita. Arkkeja ajetaan harvoin taittokoneissa johtuen arkkien suurista neliöpainoista. Seripainoille tyypillinen jälkikäsitteilyoperaatio on tyhjiömuovaus. Tyhjiömuovauksessa painettu (muovi)arkki puristetaan tiettyyn muotoon muotin avulla, jolloin saadaan haluttu kohokuvio. Myös muita tyypillisiä jälkikäsitteilyoperaatioita, kuten stiftausta ja perforointia, käytetään.



### 3 SERIPAINOVÄRIEN OMINAISUUDET

Seripainoväreiltä vaadittavat ominaisuudet määräytyvät painomenetelmän ominaispiirteiden pohjalta. Seripainolle on tyypillistä muita painomenetelmiä selvästi paksumpi värikerros. Värikerros on jopa kymmenen kertaa paksumpi kuin muissa painomenetelmissä, paksuimmillaan noin 40 µm. Tästä syystä värien kuivumisen täytyy olla nopeaa, jotta painaminen olisi taloudellisesti ja teknisesti mahdollista. Liuottimen haihtuminen ei kuitenkaan saa olla liian nopeaa, jotta painoväri ei kuivu kiinni seulakankaaseen, eikä myöskään työturvallisuussyistä, sillä painokaavio ja sillä oleva väri ovat painamisen aikana suorassa yhteydessä hengitettävään ilmaan. Painovärien liuottimet eivät saa aiheuttaa painoraakelin kumin huononemista, kuten esimerkiksi lohkeilua. Liuottimet eivät myöskään saa aiheuttaa painokaavion hajoamista.

Seripainovärien virtauksen tulee olla lyhyttä, eli väri ei saisi olla kovin venyvää. Yleisesti ottaen lyhyt painoväri ei tahri yhtä paljon ja antaa terävemmän painojäljen kuin pitkä väri, mutta pitkä väri siirtyy paremmin painokoneen värinsiirto-osissa. Kun painoseula nousee irti painoalustasta raakelin vedon jälkeen, tulisi värien katketa mahdollisimman nopeasti, jotta väri ei tahraisi painamatonta aluetta. Tästä syystä lyhyt väri on eduksi muodostettaessa terävää kuvaa.

Väreistä kehitettiin tuotantokäyttöön ensin liuotinvärit, jotka asettivat standardit värien ominaisuuksille, kuten kiillolle, kiinnittymiselle sekä hankaus- ja kosketuskestävyydelle. Tuotantoprosessit ja koneet kehitettiin liuotinväreille sopiviksi. Kun vesipohjaiset värit ovat tulleet markkinoille, on niiden täytynyt ominaisuuksiltaan yltää liuotinvärien tasolle ja sopeutua jo olemassaoleviin tuotantoprosesseihin.

#### 3.1 Reologiset ominaisuudet

Viskositeetti on tärkeimpiä painovärien ominaisuuksia kuvaavia käsitteitä. Viskositeetti on mitta painovärien sisäiselle kitkalle. Viskositeetti määritellään pinta-alaan kohdistuvan leikkausjännityksen ja leikkausnopeuden suhteena /31/:

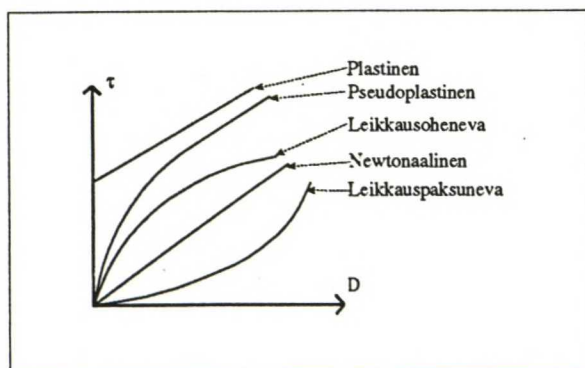
$$\eta = \tau / D \quad (1)$$

$\eta$  = viskositeetti  
 $\tau$  = leikkausjännitys  
 $D$  = leikkausnopeus.

Aineen käyttäytyminen on newtonaalista, jos viskositeetti ei muutu leikkausnopeuden muuttuessa. Seripainovärien virtaus on kuitenkin leikkausohenevaa, eli värien viskositeetti pienenee leikkausnopeuden kasvaessa. Muut virtauskäyttäytymisen tyypit ovat

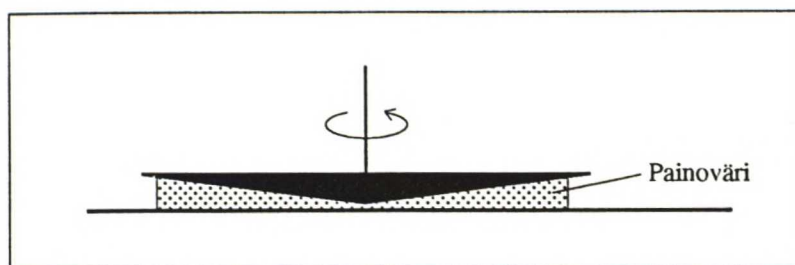


leikkauspaksuneva, plastinen ja pseudoplastinen. Virtauskäyrätyypit on esitetty kuvassa 4 /10,23,31/.



Kuva 4. Painovärien eri virtauskäyrätyypit /31/.

Värien viskositeettia ja muita reometrisiä ominaisuuksia mitataan reometrillä. Reometrissä painovärinäyte sijoitetaan kahden metallipinnan väliin, joita kutsutaan mittausgeometrioiksi. Tyypillisimmät geometriat ovat kartio-taso-, koaksiaalisylinteri-, teleskooppi- ja kapillaarigeometria /31/. Tässä työssä käytettiin kartio-taso-geometriaa, joka on esitetty kuvassa 5. Värin alapinnalla oleva taso pyörii muuttuvalla nopeudella ja yläpuolinen kartio rekisteröi värin synnyttämän jännityksen. Kartio-taso-geometria mahdollistaa erittäin suuren leikkauksenalueen mittaamisen välillä  $10^{-4} \dots 10^4 \text{ s}^{-1}$ . Tämä geometria soveltui käytettävissä olevista parhaiten seripainovärien mittaamiseen.



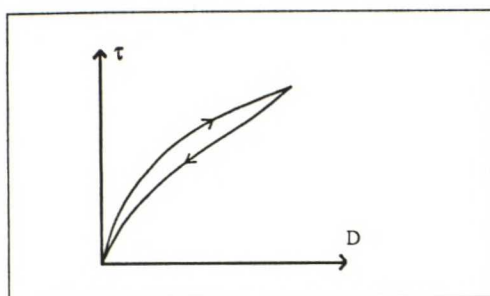
Kuva 5. Kartio-taso-geometria viskositeetin mittauksessa /23/.

Useimmat seripainovärit toimitetaan painotaloihin ohentamattomina. Tämä on erittäin yleistä liuotinvärien ja myös monien vesipohjaisten värien kohdalla. Ennen painamista värit on ohennettava ja pyrittäessä parempaan kuivumistulokseen on käytettävä valmistajan suosittelemaa ohennetta. Oikean viskositeettitasen saavuttaminen on tärkeää värin painettavuusominaisuuksien kannalta. Viskositeetti vaikuttaa myös mm. värillisyyteen, värintarpeeseen, valonkestoon ja kuivumiseen /18/. Väri ei saa olla liian ohutta, jotta se ei valu seulan läpi tai ala kuplia, mutta kuitenkin riittävän juoksevaa, jotta saavutetaan oikea värimäärä paperilla. Jos väriin lisätään liikaa vettä (yli 10-15%) aiheutuu kuivatuksessa vaikeuksia, sillä haihtuminen on liian hidasta. Värin ohentaminen tulisi suorittaa valmistajan ohjeiden mukaisesti ja mieluummin suhteessa värin painoon eikä tilavuuteen /20/. Tämä on helpointa tehdä värivaán kanssa, jolloin

saavutetaan tarkka lopputulos ja voidaan minimoida liikaohentamisesta seuranneet kuivumisongelmat.

Viskositeetti on riippuvaista myös useista tekijöistä, joista osa on lämpötilariippuvaisia. Värien viskositeettia pyrkii laskemaan lämpötilan nousun myötä lisääntyvät värin molekyylien vapausasteet sekä lämpöliike, joka heikentää rakennesidoksia /10,23,31/. Viskositeettia sen sijaan kasvattaa kohonneen lämpötilan aikaansaama värin kuivuminen.

Jos painovärien viskositeetti riippuu muodonmuutoshistoriasta, on värin käyttäytyminen tiksotrooppista. Tiksotropia määritellään viskositeetin pienenemiseksi ajan suhteen kohti tasapainoarvoa, kun näyte on ollut kokeen alussa lepotilassa, ja viskositeetin kasvuksi kohti tasapainoarvoa, kun näyte kokeen alussa on ollut rasitetussa tilassa /23,31/. Kuvassa 6 nähdään painovärien tiksotropinen käyttäytyminen leikkausjännityskuvaajasta.



Kuva 6. Painovärien tiksotrooppinen käyttäytyminen.

Jos värin leikkausjännitys alenee äkillisesti kesken viskositeettimittauksen, on tapahtunut värin murtuminen. Tämä johtuu värin sisäisen rakenteen repeämisestä, jolloin rakenteen sidokset katkeavat. Sidokset eivät enää palaa ennalleen, vaikka ulkoinen rasitus poistettaisiin. Värin murtumiseen on todettu vaikuttavan värin pintajännitys ja elastisuus sekä myös pigmentin dispergoinnin onnistuminen. Värin tulisi kestää murtumatta sellaiset leikkausnopeudet, jotka esiintyvät painatusvaiheessa painokoneen eri osissa /10,23/.

Ideaaliset kiinteät aineet ovat elastisia ja niiden käyttäytyminen on Hooken lain mukaista. Ideaalisten nesteiden käyttäytyminen taas on viskoottista ja sitä kuvaa Newtonin laki /31/. Painovärien käyttäytyminen on yleensä viskoelastista, eli niiden viskoottisuuteen liittyy elastisia piirteitä. Seripainovärejä on viskositeettitasoltaan ja luonteeltaan kahdentyypisiä: korkeaviskoottiset elastiset hyytelövärit ja matalampiviskoottiset perinteiset seripainovärit, joissa viskoottinen luonne on määrävänä. Viskoelastisia tai elastoviskoottisia ominaisuuksia voidaan mitata useilla menetelmillä, joista tässä työssä käytettiin värähtelymittausmenetelmää. Menetelmässä painoväri on reometrin kartio-taso-geometrian välissä. Reometrin kartio värähtelee sinimuotoisesti halutuilla taajuuksilla ja mittapää rekisteröi värin varasto- ja häviömodulin. Varastomoduli kuvaa painovärien elastisuutta ja häviömoduli värin viskoottisuutta. Näiden suureiden suhteenä määritellään värin vaihekulma  $\tan \delta$  /31/.

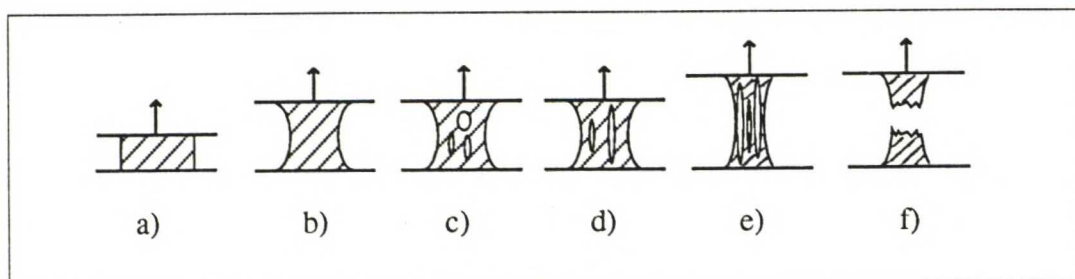


$$\tan \delta = G'' / G' \quad (2)$$

$\delta$  = vaihekulma  
 $G''$  = häviömoduli  
 $G'$  = varastomoduli.

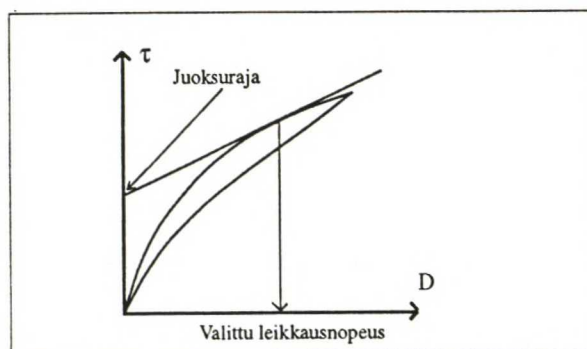
Vaihekulman arvoksi saadaan  $90^\circ$ , jos väri on täysin viskoottinen ja  $0^\circ$ , jos väri on täysin elastinen. Nämä arvot ovat kuitenkin teoreettisia ja todellisuudessa värien vaihekulmat ovat näiden ääriarvojen väliltä.

Tahmeudella tarkoitetaan värin halkeamisvastusta ja tahmeus on mitta värin koheesiolle /23,31/. Painovärin halkeamisen vaiheet on esitetty kuvassa 7. Seripainossa värin alapinnan tason muodostaa painoalusta ja yläpinnan raakelivedon jälkeen nouseva painoseulan polyesterikangas. Vaiheessa c värin sisään alkaa muodostua ilmakuplia. Vaihetta kutsutaan kavitoitumiseksi. Tasojen edelleen etääntyessä toisistaan kavitaatiokuplat laajenevat ja muuttavat värin lankamaisiksi filamentteiksi (e). Jonkin ajan kuluttua filamentit katkeavat ja alkavat vetäytyä takaisin tasojen kohden. Jos filamentit ovat muodostuneet pitkiksi ja katkeaminen tapahtuu useasta kohdasta filamenttia samanaikaisesti, muodostuu ympäröivään ilmaan väripisaroita, jotka saattavat pudota painamattomalle alueelle. Tästä syystä värin tahmeus ei ole toivottava ominaisuus seripainovärillä /23,40/.



Kuva 7. Painovärin halkeamisen vaiheet /31/.

Värin tahmeuteen vaikuttaa mm. värin viskositeetti ja värin pituus /31/. Värin pituus määritellään viskositeetin ja juoksurajan suhteena. Juoksuraja  $t_0$  lasketaan leikkausjännityskuvaajasta valitun pisteen tangentin avulla kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 8. Juoksurajan määrittäminen /31/.



### 3.2 Pintaenergeettiset ominaisuudet ja kuivuminen

Pintaenergeettisillä ominaisuuksilla, eli pintajännityksellä ( $\text{mN/m}$ ) ja pintaenergialla ( $\text{mJ/m}^2$ ), on ratkaiseva asema painatustuloksen kannalta, kun painoalustana on muovi. Pintaenergeettiset ominaisuudet ennustavat painoväriin tarttumista ja leviämistä painopinnoille olosuhteissa, joissa muut tekijät, kuten viskoottinen vastus, ei ole määräävänä /31/. Spontaanin tarttumisen edellytyksenä on mahdollisimman pieni rajapintajännitys painoalustan ja väriin välillä, kun taas väriin leviämisen estämiseksi rajapintajännityksen tulisi olla mahdollisimman suuri. Vaikka tarttuminen ja leviäminen ovat ristiriidassa keskenään, on tarttuminen todennäköisempää. Muoveilla ei sähköisyydestä johtuva ajettavuuden huononeminen ole enää nykyään suurin ongelma, vaan se, miten saada väri tarttumaan muoviin. Vesipohjaisista väreistä puuttuvat vahvat liuottimet, jotka aikaansaavat väriin pureutumisen muovin sisään ja voimakkaan kiinnittymisen muoviin. Tästä syystä vesipohjaisiin väreihin on tarjolla lisäaineita, jotka lisätään väriin painettaessa muoveille tai jotka on sekoitettu väriin jo valmistusvaiheessa. Näiden aineiden kemiallista koostumusta käsitellään kappaleessa 4.3. Painotaloille, jotka työskentelevät pääasiassa käyttäen paperia tai pahvia ja vain harvoin painavat muoveille, on parempi ratkaisu lisätä itse nämä aineet tarvittaessa väriin. Näin vain muoveille tarkoitetut väripurkit eivät ole painossa viemässä tilaa ja sitomassa kustannuksia. Painotalot, joissa taas painetaan paljon erilaisille muovialustoille ja joilla muovivärien kulutus on kohtalaista tai suurta, hyötyvät enemmän valmiiksi sekoitetuista väreistä, jolloin sekoittamiseen kuluva aikaa säästyy muuhun toimintaan /30/.

Syynä väriin huonoon kiinnittymiseen on useiden muovien alhainen pintaenergia. Ongelmallisimpia muoveja kiinnittymisen kannalta ovat polystyreenit, polyesterit ja polypropeenit /4,8/. Muovin pintaenergia tulisi olla vähintään  $39 \text{ mN/m}^2$ , jotta ongelmia voitaisiin välttää /8/. Eräät lähteet suosittelevat jopa  $44\text{--}48 \text{ mN/m}^2$  tasoa etenkin vaikeimmin painettaville muoveille /30/. Muovin pintaenergiaa voidaan nostaa koronakäsittelyllä tai liekitysmenetelmällä /8/. Muovien pintaenergia laskee ajan myötä, ja palaa samalle tasolle kuin ennen koronakäsittelyä. Se, kuinka kauan pintaenergia pysyy korkealla tasolla, riippuu myös muovilaadusta. Esimerkiksi polyeteeni säilyttää pintaenergiansa kauemmin kuin polypropeeni /30/. Sekä korona- että liekitysmenetelmät ovat hankalia toteuttaa painotalossa, joten muovin ikä on ratkaiseva tekijä pyrittäessä parempaan kiinnittymistulokseen.

Vesipohjaisen väriin pintajännitys on suurempi kuin liuotinväriin. Tämä johtuu vesimolekyylien suuresta pintajännityksestä, joka on  $72 \text{ mN/m}^2$ , kun esimerkiksi etyyliasetaatin pintajännitys on vain  $24 \text{ mN/m}^2$ . Vesipohjaisen väriin pintajännitys on keskimäärin noin  $30\text{--}45 \text{ mN/m}^2$ , kun taas liuotinväriin on noin  $23 \text{ mN/m}^2$ . Tämä saattaa aiheuttaa vaikeuksia paitsi väriin kiinnittymisessä painoalustaansa myös jälkikäsittelyssä. Käytännössäkin on havaittu, että normaalit liuotinväreille käytetyt liimat eivät tartu vesipohjaisen väriin päälle, vaan on käytettävä

esimerkiksi hot-melt liimoja. Alkoholin lisääminen vesipohjaiseen väriin alentaa värin pintajännitystä, mikä on yksi syy alkoholin lisäämiseen.

Pehmeillä PVC-laaduilla on ongelmana pehmennäaineiden nouseminen muovin pintaan, jotka siten aiheuttavat värin irtoamisen pitkänkin ajan päästä painamisesta. Jotta värin irtoaminen voitaisiin estää, on ratkaisevaa tietää PVC-muovin ikä. Pehmeille PVC-laaduille painettaessa tulisi liuotinvärin sisältää enemmän ketonipohjaisia liuottimia /8/. Näin helpotetaan värin kiinnittymistä PVC-muoviin. Täyteen varmuuteen pysyvästä kiinnittymisestä on vaikea päästä, jos tätä ei testata ennen painatusta.

Kuitupohjaisilla alustoilla ei värin kiinnittyminen ja pintaenergeettiset ominaisuudet yleensä muodostu ongelmaksi, jos painoväri on valittu oikein. Koska seripainoprosessilla painetaan hyvinkin erilaisille painoalustoille, tulee merkitykselliseksi juuri oikeanlaisen värin valitseminen kullekin alustalle. Heikko kiinnittyminen saattaa usein johtua myös siitä, että paksu värikerros on joustamattomampi kuin alusta, jolle väri painetaan.

Seripainomenetelmän moninaisuudesta johtuen painoväreissä on mahdollista käyttää miltei kaikkia tunnettuja kuivumismekanismeja. Painoväri määritellään kuivaksi, kun se on painamisen jälkeen saavuttanut painotuotteelle asetetut vaatimukset kosketus- ja hankauskeston osalta. Yleisin kuivumistapa on haihtuminen. Perinteiset seripainovärit sisältävät orgaanisia haihtuvia liuottimia jopa 80% koostumuksestaan. Sopivan liuottimen tai liuotinyhdistelmän löytäminen on avainasemassa pyrittäessä hyvään kuivumisnopeuteen ja painoseulan stabiiliteettiin /9,14,23,40/.

Vesipohjaisten värien kuivumistapa on käytännössä aina haihtuminen. Liuotinvärin kuivuminen on kahdensuuntainen tapahtuma. Kun väri on kuivunut, voidaan väri liuottaa uudestaan liuottimeensa. Vesipohjaisella värillä näin ei voi olla, koska tällöin väreillä ei olisi lainkaan veden tai kosteudenkestoa. Tästä syystä vesipohjaisten värien kuivumisessa on hartseilla keskeinen asema. Ne saavat aikaan sen, että vesipohjaisen värin kuivuttua värin liuottaminen veteen on vaikeaa. Hartsien ominaisuuksista on kerrottu enemmän kappaleessa 4.3. Kuivuttuaan värit liukenevat helposti kuitenkin vahvempiin liuottimiin, kuten hiilivetyyhdisteisiin tai asetaatteihin /24/.

Veden haihtumisnopeus orgaanisiin liuottimiin verrattuna on melko pieni. Samassa ajassa samalla kuivausteholla voidaan haihduttaa kolminkertainen määrä alkoholia ja kuusinkertainen määrä etyyliasetaattia veteen verrattuna /14,44/. Tästä syystä kuivurin kuivaustehon tulee olla riittävän suuri, jos halutaan säilyttää sama painonopeus kuin liuotinväreillä. Kuivausuunin teho riippuu kuivausajasta, kuivausilman lämpötilasta, -nopeudesta ja -määrästä /43/. Koska kuivausilman nopeutta ja määrää harvoin voidaan uuneissa säätää, eikä kuivauslämpötilaa voida



rajattomasti nostaa painojäljen kärsimättä, jää lopulliseksi määrääväksi tekijäksi usein painonopeus, joka vaikuttaa kuivumisaikaan.

Koska kuivausmuuttujat ovat rajallisesti säädettävissä, on huolehdittava siitä, että painettava värikerros ja siten paperille siirtynyt vesimäärä on riittävän pieni /25,36/. Tähän voidaan vaikuttaa painokoneen muuttujilla ja erityisesti oikeanlaisella kaaviolla. Seulakankaan tiheyden tulee olla riittävän suuri ja kaaviomateriaalin riittävän ohut. Neliväriasteripainatuksissa oikea seulakangastiheys on noin 150 ja kankaan kudonta mielellään plain weave. Kokeissa on todettu kuivumisen parantuvan ja paperin käyristymisen vähenevän, kun käytetään 150T plain weave-seulakangasta (8µm värin paksuus) 180T twill weave-kankaan (13µm värin paksuus) asemasta. /36,37/. Näin saavutetaan riittävän ohut värikerros, jonka on mahdollista kuivua uunissa.

Hapettumalla kuivuvat värit ovat usein alkydihartsipohjaisia. Pellavaöljypohjaisia värejä ei juuri enää käytetä. Metallimerkeissä ja -kilvissä käytetyt värit ovat yleensä hapettumalla kuivuvia /23/.

Liuottimen suotautuminen ei koskaan toimi ainoana kuivumismekanismina seripainoväreissä, mikä johtuu painovärikerroksen paksuudesta. Suotautuminen auttaa väriä asettumaan eli muuttumaan kosketuskestäväksi sekä toimii usein toissijaisena kuivumismekanismina. Erityisesti kuitupohjaisille alustoille painettaessa suotautuminen toimii haihtumisen rinnalla /23/. Myös tietyt erikoisvärit, kuten jotkut muovivärit, sisältävät liuottimia, jotka tunkeutuvat suotautumalla muoviarkeen sisään ja siten auttavat hyvän kiinnittymisen saavuttamista.

Ultraviolettivalon vaikutuksesta kuivuvat värit ovat nousseet merkittäväksi väriryhmäksi seripainoissa. Keskeisenä syynä tähän on nopea kuivuminen paksuillakin värikerroksilla sekä kuivausuunit, joiden tilantarve on puhallinkuivausuuneja selvästi pienempi. UV-kuivuvia värejä on saatavissa miltei kaikkiin seripainotekniikan sovellusalueisiin. UV-värien ongelma on niiden korkea hinta ja koostumukselliset ominaisuudet. UV-värit eivät ympäristönsuojelun kannalta ole edistyksellisiä, sillä eräät niiden sisältämät yhdisteet, kuten aromaattiset ketonit, ovat ympäristölle haitallisia. Niinsanotut vesi-UV-värit ovat siis tässä mielessä vain osaratkaisu. Vesi-UV-väreissä vähäiset liuotinmäärät on korvattu vedellä /9,24,34/.

### 3.3 Painettavuusominaisuudet

Seripainovärien tärkeimpiä painettavuusominaisuuksia ovat värintarve, jäljen tasaisuus, läpipainatus, pisteen leviäminen, kontrasti sekä set- ja rub-off. Värintarve riippuu paljon käytetyistä painatusmuuttujista ja painokaaviosta eli seulakangastiheydestä ja emulsio- tai filmikerroksen paksuudesta. Tiheydeltään 140 T seulakankaalla ja normaalipaksuisella n. 5-10 µm emulsiokerroksella värintarve on noin 1 litra / 75-90 m<sup>2</sup>/35/. Vesipohjaisten värien

peittoasteesta on sanottu, että ne peittävät jopa 40% suuremman alan painovärikiloa kohden kuin vastaavat liuotinvärit /42/. Tämä johtuu lähinnä haihtuvien liuottimien pienemmästä osuudesta. Painojäljen tasaisuus ja kontrasti ovat yleensä hyvät johtuen menetelmälle ominaisesta paksusta värikerroksesta, joka voi vaihdella 8-40  $\mu\text{m}$  välillä /23/. Samoin läpipainatusta ei käytännössä esiinny, koska seripainossa ei käytetä ohuita paperilaatua (alle 120  $\text{g/m}^2$ ).

Rasteripainatuksen pisteprosentin muutokset ilmenevät muista painomenetelmistä poiketen yleensä pisteprosentin pienenemisenä. Valon heijastuminen paperikuiduista ja värin imeytyminen paperiin pinnan suuntaisesti, ovat vähäisempiä kuin pitkissä painoksissa tapahtuva pistettä pienentävä värin kuivuminen rasteripisteiden aukkoihin. Värin kuivumista seulakankaalle esiintyy vain haihtumalla kuivuissa väreissä. Vesipohjaisilla väreillä seulan aukkojen pientyminen on vähäisempää, mikä johtuu siitä, että näillä väreillä liuotin ei ole yhtä herkästi haihtuvaa kuin liuotinväreissä /2,24/. Samasta syystä vesipohjaisilla väreillä on tuotannossa helpompi toistaa pieniä yksityiskohtia.

Set- ja rub-off eli kosketus- ja hankauskesto muodostuvat painettuun värikerrokseen kuivausuunissa. Painamistapahtuman jälkeen arkki kulkeutuu uuniin noin kolmen sekunnin kuluttua. Koska painettu arkki kulkee kuivaushihnalla suoraan pinoamislaitteeseen eikä arkin yläpinta kosketa mihinkään, ei kosketuskesto ole ongelma. Kun painettu arkki tulee uunista pinoamislaitteeseen, sen tulee olla kosketuskestävä ja sen hankauskeston tulee olla jo melko hyvä. Seripainon painoarkit ovat yleisesti paksuja ja neliömassaltaan suuria. Kun arkit kerääntyvät painokoneen pinoamislaitteeseen korkeaksi pinkaksi, kohdistuu alimmaisiin arkkeihin kova paine. Värikerroksen tulee olla tällöin riittävän kuiva, jotta se ei tahri muita arkkeja. Erityisesti tämä korostuu kaksipuolisissa ja moniväripainatuksissa.

Seripainoväri sisältää 50-80% painostaan nestemäisiä liuottimia, joiden tulee poistua väristä ennen kuin väri kuivaa. Liuotinväreissä nesteet ovat pääasiassa helposti haihtuvia liuottimia, joista vain pieni osa suotautuu paperiin. Vesipohjaisissa väreissä liuottimena toimiva vesi haihtuu hieman hitaammin ja sitä ehtii imeytyä paperiin suurempi määrä. Pienen neliömassan papereilla tämä vesimäärä aiheuttaa paperin käyristymistä ja tasonsuuntaista mittamuutosta eli kutistumista. Käyristyminen ja kutistuminen heikentävät mahdollisten seuraavaksi painettavien värien kohdistusta ja tuotteen loppukäyttöominaisuuksia. Useat valmistajat suosittelivat paperin neliömassan alarajaksi 130  $\text{g/m}^2$  /26,40,42/. Tämä raja kuitenkin vaihtelee huomattavasti riippuen painettavien värien määrästä, värikerroksen paksuudesta ja värin ohennukseen käytetyn veden määrästä.



### 3.4 Optiset ominaisuudet

Painovärien optisia ominaisuuksia ovat mm. spektraalinen absorptiokerroin ja hajaheijastuskerroin sekä pintaheijastuksen määrä ja sen spektraalikoostumus. Spektraalisiin mittauksiin käytetään spektrofotometriä. Se ilmoittaa tuloksen värikoordinaatteina, joiden avulla painovärien värillisyyttä voidaan ilmoittaa tarkasti. Esimerkkinä värikoordinaatistoista mainittakoon  $L^*C^*H^*$ -koordinaatisto, jossa värikoordinaatit ilmaisevat numeerisilla arvoilla värin luminanssia (vaaleutta), kylläisyyttä ja sävykulmaa /31/. Spektrimittaus voidaan suorittaa joko kiinteästä tai nestemäisestä painovärinäytteestä.

Opaakkien peittovärien hajaheijastuvuuden tulisi olla mahdollisimman suuri, jotta painoväri peittäisi hyvin paperin värin. Transparenttien prosessivärien hajaheijastuvuuden taas tulisi olla mahdollisimman pieni, eli värin tulisi olla läpikuultavaa. Tämä korostuu seripainon paksuissa värikerroksissa, jotta viimeiseksi painettu prosessiväri (esim. syaani) ei peittäisi alleen muita värejä /9,23/.

Pintaheijastuksen suhteellinen osuus peiliheijastuskulmassa määrää painovärien kiillon /31/. Seripainossa paperin vaikutus kiillon muodostumiseen on pienempi kuin muissa painomenetelmissä, sillä etenkin täyspeitteisillä pinnoilla paksu värikerros peittää tehokkaasti alleen paperin kuidut. Näin ollen kiillon määrään vaikuttaa paljon kuivuneen värikerroksen pinnan tasaisuus.

## 4 SERIPAINOVÄRIEN KOOSTUMUS

### 4.1 Raaka-aineet

Muiden painovärien tapaan seripainoväritkin koostuvat pigmentistä, sideaineesta, kantofaasista ja lisäaineista. Kuitenkin muista painomenetelmistä poiketen, seripainoväri on harvoin käyttövalmista suoraan väripurkista. Useimmat seripainovärit toimitetaan ohentamattomina, ja ennen painatusta ne on säädettävä oikeaan painoviskositeettiin. Ohenninta lisätään yleensä muutamasta prosentista viiteentoista prosenttiin, ja halutusta lopputuloksesta riippuen käytetään hidasta, normaalia tai nopeaa ohenninta. Näin voidaan vaikuttaa värin kuivumisnopeuteen. Muita seripainoväreihin lisättäviä komponentteja ovat mm. pH:n säätöaineet ja verkkouttajat. Näitä tarkastellaan lähemmin värien lisäaineita käsittelevissä kappaleissa.

Pigmentin tai väriaineen tehtävänä painoväriässä on absorboida väriin tullutta valoa ja siten aikaansaada painovärien värillisyyttä /6,10/. Pigmentin ja väriaineen ero on liukoisuudessa; pigmentit ovat liukenemattomia ja kiteisiä, kun taas väriaineet liukenevat käytettyyn liuottimeen.

/21/. Ideaalitalanteessa prosessiväripainatuksen kolme osaväriä – syaani, magenta ja keltainen – absorboisivat osansa valon näkyvästä aallonpituudesta. Lisäksi mustan prosessivärin tulisi absorboida kaikki siihen tullut valo. Todellisuudessa väreissä esiintyy kuitenkin paljon epäideaalisuutta. Neljän edellä mainitun prosessivärin lisäksi käytetään myös paljon muitakin värejä. Niitä kutsutaan yleensä lisäväreiksi ja ne aikaansaadaan muunvärisillä pigmenteillä tai väriaineilla. Nelivärisarjan pigmentit edustavat painoväriteollisuudessa noin 55-60% pigmenttien kokonaiskulutuksesta /21/.

Seripainovärin pigmenttiä valittaessa tulee ottaa huomioon sen värillisyyss- ja transparenttisuusominaisuudet. Muita valintaan vaikuttavia kriteereitä ovat tiheys, partikkelikoko, pintakemialliset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus. Loppukäytön kannalta pigmentin valonkesto on tärkeä ominaisuus. Ulkokäyttöön tulevat julisteet ja displaymateriaalit, kuten näyteikkunatarvikkeet, tulisi painaa väreillä, joiden pigmenteillä on hyvä valonkesto. Punaisilla pigmenteillä valonkesto on suurin ongelma. Kohtuullisen hyväksi tässä suhteessa on havaittu Quinacridonen punainen /23/. Myrkyllisyytensä vuoksi raskasmetalleja sisältäviä pigmenttejä ei enää käytetä nykyisissä seripainoväreissä /11,13/. Raskasmetalleiksi lasketaan lyijy, elohopea, seleeni, kuudenarvoinen kromi (Cr [+6]), barium, kadmium, antimoni ja arseeni. Hartsit, liuottimet ja lisäaineet saattavat myös sisältää pieniä määriä raskasmetalleja, mutta pitoisuudet niissä ovat merkityksettömän pieniä /13,19/.

Pigmentin tummuutta tai vaaleutta voidaan säätää niinsanotuilla extendereillä, joita ovat mm. kalsiumkarbonaatti ja kaoliini. Extenderit vaikuttavat myös värin virtausominaisuuksiin. Riittävä värin voimakkuus voidaan seripainoväreissä saavuttaa jo 5% orgaanisen pigmentin osuudella johtuen paksusta värikerroksesta /6,23/. Täysin transparentilla eli läpinäkyvällä pigmentillä on vaikea saavuttaa tasaista väripintaa. Transparentit pigmentit reagoivat liian voimakkaasti kaavion paksuuden muutoksiin sekä painoseulan ja raakelin epätasaisuuksiin. Tästä syystä transparentteja pigmenttejä tulisi käyttää vain prosessiväreissä ja taustavalaistuisissa paneeleissa. Transparentteja pigmenttejä ovat mm. phtalosyanidisininen ja -vihreä. Opaakki pigmentti tekee painovärin vähemmän valoaläpäiseväksi, ja sopii siten käytettäväksi esimerkiksi lisäväreissä ja valkoisissa painoväreissä. Opaakki pigmentti on mm. titaanidioksidi /10/.

Sideaineena seripainoväreissä käytetään hartseja. Hartsit ovat kiinteitä tai nestemäisiä yhdisteitä, joilla on suhteellisen korkea molekyylipaino. Hartseja on sekä synteettisiä että luonnonhartseja, joista luonnonhartseja käytetään enää vähän ja niitäkin modifioituina. Päähartsityyppit ovat pihkahartsit ja sen johdannaiset sekä alkydit, fenolihartsit, akryylihartsit ja hiilivetyhartsit /21/. Sideaineen tärkeä ominaisuus on sen kyky muodostaa stabiili liuos käytetyn liuottimen kanssa. Sideaineen tulisi sallia liuottimen helppo haihtuminen ja samalla antaa värikerrokselle riittävä joustavuus ja estää painovärin tahraaminen. Selluloosan johdannaisiin perustuvat seripainovärit eivät vaadi hartsien modifiointia, mutta niihin voidaan lisätä maleiini- tai fenolihartsia



parantamaan painojälkeä /10,23/. Nitroselluloosa, joka on ollut erittäin tärkeä sideainekomponentti liuotinväreissä, ei kuitenkaan sovellu vesipohjaisiin väreihin ja on siten pakottanut etsimään korvaavia sideaineita /29/.

Liuottimen tehtävänä on toimia pigmentin ja sideaineen kantofaasina ja mahdollisesti sideaineen liuottimena sekä muodostaa painoväriin komponenteista tasainen kalvo painoalustalle. Sideainevalinta vaikuttaa siten myös liuottimen valintaan. Liuotin tulisi valita kompromissina haihtumisominaisuuksien ja painoseulan stabiliteetin välillä. Jos liuotin on hyvin haihtuvaa ja painoväri kuivuu nopeasti, saattaa väri kuivua kiinni liian nopeasti myös painoseulaan, jolloin seulaa joudutaan jatkuvasti pesemään. Sopivaa kompromissia edellämäinittujen ominaisuuksien ja hinnan kesken löytyy harvoin yhdestä liuottimesta, mistä syystä kahden tai kolmen liuottimen yhdistelmät ovat yleisiä. Mm. etyyli glykolia setaattia käytetään usein aromaattisten tai alifaattisten hiilivetyliuottimien kanssa sopivana seoksena oikean haihtuvuuden saavuttamiseksi. Muita yleisiä liuottimia ovat mm. sykloheksanoli, etyleeniglykolieetteri, etyylialkoholi ja vesi.

Liuottimen valinnassa tulee myös huomioida mahdolliset reaktiot kaaviomateriaalien ja raakeliin kanssa sekä työsuojelulliset- ja ympäristönäkökohdat. Viimeksimainitut ovat olleet pääosassa alettaessa kehittää seripainovärejä, joissa pääliuottimena toimii vesi. Vedellä on liuottimena myös omat haittapuolensa. Valmistuksessa pigmentin dispergointi veteen on vaikeampaa kuin orgaaniseen liuottimeen. Tästä syystä perinteisesti käytettyjä pigmenttejä on jouduttu vaihtamaan uusiin, jotka pystytään dispergoimaan veteen. Vesipohjaisen painoväriin pesu kuivuneena on myös ongelmallisempaa kuin liuotin pohjaisen väriin. Sensijaan korroosion ei uskota olevan ongelma käytettäessä vesipohjaisia värejä. Muunmuassa sanomalehtifleksokoneissa käytetyt vesi-fleksovärit eivät ole aiheuttaneet mitään vastaavia korroosio-ongelmia /44/.

Lisäaineilla pyritään parantamaan painovärien erikoisominaisuuksia. Lisäaineet ovat yleensä kalliita verrattuna värien pääkomponentteihin, joten niiden määrä pyritään minimoimaan. Kostutus- ja dispergointiaineet helpottavat väriin valmistusta, muut lisäaineet taas parantavat väriin ominaisuuksia. Seripainoväreille ominaista kuplimistaipumusta voidaan vähentää extendereillä, tai jos niiden käyttö on mahdotonta koostumuksellisista syistä, myös silikoninesteet pienentävät kuplimista. Kuplimista esiintyy painamistapahtumassa, jos raakelin painoseulaa vasten kohdistama puristus on liian suuri tai jos väri on koostumukseltaan taipuvainen kuplimiseen. Kupliminen aiheutuu painoseulan aukkojen aikaansaamasta pienimittakaavaisesta väriin kohdistuvasta pyörreliikkeestä, joka tuo väriin ilmaa ja johtaa kuplimiseen. Polymetyylisiloksaania käytetään usein seripainoväreissä, usein määrältään alle 1% kokonaiskoostumuksesta. Silikonien käytössä saattaa esiintyä myös ongelmia. Joskus silikonin sisältävien värien päälle ei voida lakata tai painaa silikonin sisältämättömillä väreillä, koska pinnan adheesio muodostuu liian pieneksi. Samoin ylipainatuksessa saattaa esiintyä neulareikäisyyttä päälimmäisessä värikerroksessa, jos alempi kerros sisältää silikonin /23/.



Vahalla on lisäaineena värissä useitakin tehtäviä. Vahat parantavat värin kulutuskestävyyttä ja liukkautta ja saavat siten pinnan vettä hylkiväksi. Jo pieni määrä vahaa vähentää värin tahmeutta merkittävästi. Kulutuskestävyys paranee, koska vahapartikkelit ovat väripartikkeleita korkeammalla värin pinnalla ja näin vaha estää kontaktinmuodostumista värin kanssa. Vastaavasti vahan lisääminen vaikuttaa negatiivisesti alentuneena kiiltona ja värin kuivumisen hidastumisena. Vesipohjaisissa väreissä vahat ovat erittäin tärkeä lisäaineryhmä värin ominaisuuksien parantajana /3/. Vahoja käytetään vain haihtumalla kuivuviissa väreissä. Vahapastoista voidaan mainita esimerkkinä mikronisoitu polyetyleenivaha /3,9,23/. Värittömiä ja valkoisia lisäainepastoja käytetään painovärin värillisyyden säätöön muuttamatta viskositeettia. Lisäainepastan erityistarkoitus voi olla esimerkiksi mattaisuuden aikaansaaminen väriin. Lisäämällä väriin 20% tilavuusosuus mattapastaa voidaan saada aikaan yli 50 yksikön pudotus kiiltoarvossa /1/.

Kuivumista edistävät aineet toimivat katalysaattoreina hapettuvissa painoväreissä ja ovat avuksi nopeaa kuivumista vaativissa prosesseissa. Katalysaattoreina toimivat yleensä metallit, kuten esim. sinkki ja vanadium tai erilaiset rasvahapot /9,23/.

Pehmittimet pehmittävät nimensä mukaisesti painettua ja kuivunutta painoväriä alustallaan. Jos värin muodostama filmi on jäykkä ja taipumaton, se murtuu helposti alustaa taitettaessa. Tätä ilmiötä esiintyy erityisesti hapettuvilla painoväreillä ei-huokoisilla pinnoilla. Pehmittimet toimivat liuottimina värikerroksessa sallien tiettyä liikkumavapautta molekyylitasolla ja täten estäen värin halkeilua. Kemiaalisesti pehmittimet ovat yleensä nestemäisiä aineita, mutta myös kiinteitä liukoisia aineita käytetään niiden paremman lämmönsietokyvyn ansiosta. Esimerkkeinä pehmittimistä ovat fosforihapon esteri ja risiiniöljyn rasvahappo /23/.

PH-tason säätöön käytetään erityisesti vesipohjaisissa väreissä ammonium-yhdisteitä tai amiineja. Näiden aineiden haihtuessa vesipohjaisen värin viskositeetti yleensä kasvaa, ja viskositeetin säätämiseksi on ohentamisen lisäksi värin pH-tasoa yleensä nostettava. Ammoniakki on useita amiiniyhdisteitä haitattomampi, mutta sen haittapuolena on sille tunnusomainen haju.

## 4.2 Liuotinpohjaiset värit

Liuotinpohjaiset seripainovärit ovat vielä nykyäänkin orgaanisiin ja usein myös aromaattisiin liuottimiin pohjautuvia. Yleisesti käytettyjä ovat hiilivetyliuottimet, joiden aromaattisuuspitoisuus saattaa olla yli 90%. Yleisiä liuottimien ryhmiä ovat myös alkoholit ja asetaatit. Alkoholeista voidaan mainita esimerkkeinä 2-etoksietanoli ja n-propanoli. Asetaatteja ovat mm. 2-etoksietyyliasetatti, ja 2-etyylioksitoasetatti /5/. Värien pesuun käytetään etyyli glykoliaasetattia, normaalina ohenteena mesityleeniä, asetaatteja tai hiilivetyseoksia ja



hitaana ohenteena glykolihapon n-butyyliesteriä /9/. Liuotinpohjaisen seripainoväriin koostumus kuitupohjaisille alustoille on esimerkiksi taulukossa 1 esitetyn mukainen /23/. Kuten taulukosta nähdään, sisältää esimerkkiväri haihtuvia liuottimia hieman alle 70% väriin koostumuksesta.

Taulukko 1. Seripainoväriin koostumus kuitupohjaiselle painoalustalle /23/.

<u>Väriin komponentti</u>	<u>Prosenttiosuus</u>
Pigmentti (esim. Phthalosyanidisininen)	5,0 %
Titaanidioksidi	3,0 %
Nitroselluloosa	14,0 %
Dioktyylifthaleni	7,0 %
Hapan maleiinihappo	3,0 %
Propyleeniglykolietyylieetteri	38,0 %
Etyyliyglykoliaasetti	20,0 %
Aromaattinen hiilivetyliuotin (160-180°C)	<u>10,0 %</u>
	100,0 %

Seripainolla pystytään painamaan miltei kaikille muovilaaduille. Tästä syystä muovit ovat seripainomenetelmässä yleinen painoalusta. Värien valmistajan ja käyttäjän kannalta olisi toivottavaa, että muoviväri soveltuisi mahdollisimman monelle muovilaadulle. Näin ei kuitenkaan usein ole, ja monelle muovilaadulle tarvitaan oma painoväriin koostumus.

Yleisin painettu muovilaatu on pehmeissä ja kovissa muovilaaduissa PVC-muovi. Muita painettavia muoveja ovat polykarbonaatit, polyesterit, polystyreenit, selluloosa-asettiit, akryylit ja polyolefiinit. Ulkokäyttöön tarkoitettu valonkestävä muoviväri PVC:lle tai akryylille on esitetty komponentteittain taulukossa 2 /23/.

Taulukko 2. Ulkokäyttöön tarkoitetun muoviväriin koostumus /23/.

<u>Väriin komponentti</u>	<u>Prosenttiosuus</u>
Pigmentti (esim. Quinacridonen punainen)	10,0 %
Etyylimetakrylaatti kopolymeeri	25,0 %
Vinyliharts	7,0 %
Mettylipropoksiasetti	20,0 %
Aromaattinen hiilivetyliuotin	20,0 %
Cykloheksanoli	10,0 %
Diasetoni alkoholi	7,0 %
Silikoni (vaahdonesto)	<u>1,0 %</u>
	100,0 %

### 4.3 Vesipohjaiset värit

Vesipohjaiset värit poikkeavat koostumukseltaan hyvin paljon liuotinpohjaisista väreistä. Ainoa värin komponentti, joka on lähes identtinen liuotinvärien kanssa, on lisäaineet. Vanhat liuotinväreissä käytetyt pigmentit on jouduttu eräiltä osin vaihtamaan uusiin johtuen niiden soveltumattomuudesta vesipohjaisiin väreihin. Ainakin pigmenttien dispergointia on jouduttu muuttamaan jauhatuksen ja liettämisen osalta. Kaikilla perinteisillä pigmenteilla ei jauhatusta ja liettämistä vesifaasiin ole onnistuttu toteuttamaan, joten joitakin kalliita erikoispigmenttilaatuja joudutaan käyttämään /44/. Pigmentin prosentuaalinen osuus värissä on myös hieman noussut. Tämä johtuu siitä, että kun kuivumisen edistämiseksi värikerroksen paksuutta paperilla joudutaan pienentämään, saavutetaan suuremmalla pigmentin osuudella liuotinvärejä vastaava värin voimakkuus. Raskasmetallien käytöstä pigmentteinä on vesipohjaisissa väreissä luovuttu.

Sideaineina käytettyjä hartseja on kolmea tyyppiä. Vesiliukoiset hartsit, veteen liukenemattomat emulsio- tai dispersiohartsit ja ns. kaksikomponentti verkkouttajahartsit. Vesiliukoiset hartsit eivät itsessään ole vesiliukoisia, vaan painoväri sisältää myös haihtuvaa alkaalia, amiinia tai ammoniakkia, joka saa hartsin liukenemaan veteen. Liuottimen ja alkaalin haihtuessa kuivumistapahtumassa hartsi muuttuu jälleen liukenemattomaan muotoonsa ja väri tulee vedenkestäväksi /25/. Hartsit ovat neutraaleja tai happamia, mistä syystä ne liukenevat emäksisiin aineisiin. Täydellistä vedenkestoa ei myöskään tällä hartsityypillä voida koskaan saavuttaa /12/. Kemiallisesti hartsit ovat akryylihappoja, akrylaatteja, maleiinihappoja ja isosyanaatteja /44/.

Dispersiohartsit ovat hienoksi jauhettuja veteen liukenemattomia hartseja, ja emulsiohartsit nestemäisiä hartsityyppejä vesiseoksessa. Nämä hartsityypit ovat edellämäinittuun verrattuna nopeammin kuivuvia sekä vedenkestoltaan ja kiilloltaan parempia /12,44/. Heikkoutena on emulsioiden herkkyys pH:n muutoksille. pH-arvon vaihtelu saa aikaan ns. emulsion hajoaminen, jossa hartsipartikkelit muodostavat flokkeja eli "paakkuuntumia" väriin /12,25,32/. Kuivumislämpötilan tulee myös olla näillä hartseilla korkeampi kuin normaali filminmuodostuslämpötila, jotta vedessä olevat hartsipartikkelit voivat yhdistyä ja muodostaa kiinteän pinnan. Tämä hartsityyppi on nykyään yleisimmin käytetty.

Kaksikomponenttihartsien komponentit reagoivat keskenään tehostaen kuivumista ja aikaansaaden hyvän kiinnittymisen painoalustaan. Veden- ja rasvankesto on näillä hartseilla parempi kuin edellämäinituilla. Heikkoutena niillä on epästabiilisuus. Hartsin verkkouttaja (engl. cross-linking agent) lisätään väriin ennen painamista. Näiden hartsien kemiallista koostumusta ei ole julkistettu, mikä tekee reaktioiden arvioimisen vaikeaksi. Verkkouttajan lisääminen huonontaa värin stabiiliteettia seulalla kuivumisen ja seulan aukipysymisen suhteen sekä vaikeuttaa värin pois pesua painamisen jälkeen. Kehitys on menossa kohti ns.



itseverkkouttavia hartseja, joilla on samanlaiset kiinnittymisominaisuudet, mutta näitä hartseja sisältäviin väreihin ei verkkouttaja-ainetta tarvitse erikseen lisätä /44/. Näiden hartsien kehittyminen saattaa ratkaista vesipohjaisten värien kiinnittymisongelmat muoveille.

Vesipohjaiset värit eivät ole täysin liuotinvapaita, vaan värit sisältävät aina jonkin verran haihtuvia liuottimia. Pieni määrä orgaanista liuotinta on välttämätön vesipohjaisissa väreissä, jotta saavutetaan riittävän tasainen sideainefilmi. Liuotin parantaa myös painettavuus- ja virtausominaisuuksia, kiinnittymistä ja kuivumista. Liuotimen haihduttamisessa tarvittavaa energiaa voidaan huomattavasti pienentää lisäämällä veden joukkoon pieni määrä alkoholia. Jo pieni määrä etyylialkoholia laskee tarvittavan kuivausenergian määrää huomattavasti. Vesipohjaisilla väreillä orgaanisten haihtuvien liuottimien määrä on tietyissä väreissä saatu alennettua viideksi prosentiksi värin kokonaispainosta. Tällöin liuottimena on juuri edellämäinittu etyylialkoholi. Normaalisti liuottimien (muut kuin vesi) määrä vaihtelee vesipohjaisissa väreissä 10-20 prosentin välillä. Alkoholinkin lisääminen väriin nostaa haihtuvien liuottimien määrää. Tästä syystä alkoholin määrää väreissä pyritään jatkuvasti pienentämään sekä löytämään etanolille korvaavia liuottimia. Tavoitteena on alle yhden prosentin alkoholimäärät värisä /44/.

Taulukossa 3 on vertailtu tyypillisen vesipohjaisen ja liuotinpohjaisen värin rakennetta pääkomponenteittain. Lisäksi värit sisältävät vaihtelevia määriä kappaleessa 4.1 mainittuja lisäaineita. Koska vesipohjaiset seripainovärit ovat nykykoostumuksessaan verrattain uusia, ei niiden koostumuksesta ole juurikaan saatavissa komponenttikohtaista tietoa kirjallisuudesta eikä valmistajien taholta. Tästä syystä yksityiskohtaisempi koostumustietoja ei ole voitu esittää.

Taulukko 3. Vesi- ja liuotinpohjaisten värien rakenne.

<u>Liuotinpohjainen väri</u>		<u>Vesipohjainen väri</u>	
1. Pigmentti	10%	1. Pigmentti	12%
2. Hartsi	25%	2. Hartsi	23%
3. Liuotin	60%	3. Liuotin	15%
4. Lisäaineet	5%	4. Vesi	45%
		5. Lisäaineet	5%

Vesipohjaisten värien koostumuksen mukanaantuoma ongelma on värien selvästi lyhyempi varastointiaika verrattuna liuotinpohjaisiin väreihin. Liuotinvärien varastointi-ikä on jopa vuosia, vaikka väripurkki olisikin jossain vaiheessa varastointia avattu, ja väri päässyt kosketuksiin ilman kanssa. Vesipohjaisen seripainovärin varastointi-ikä on maksimissaan noin

vuosi, ja tätä vielä lyhentää se, jos väri on useita kertoja varastoinnin aikana joutunut kosketuksiin ilman kanssa. Alhainen varastointilämpötila pidentää värin säilymistä /27,41,45/.

Vesipohjaiset värit toimivat parhaiten kuitupohjaisilla painoalustoilla. Niilläkin lopputuotteen laatu riippuu paperityypistä (päälystetty tai päälystämätön), paperin neliömassasta, kuivatusolosuhteista ja värin koostumuksesta. Yleisenä neliömassarajana päälystämättömälle paperille on pidetty 150 g/m<sup>2</sup>. Tätä pienemmillä neliömassoilla paperin käyristyminen kasvaa liikaa. Paperin käyristyminen riippuu kuitenkin täysin paperille painetusta värimäärästä ja sen sisältämästä vesimäärästä, joten arvoa on pidettävä vain ohjeellisenä. Käyristymisen ohella vesipohjainen väri yleensä myös kutistaa painettavaa paperia. Paperin reagointi vesipohjaiseen väriin riippuu paljolti paperin kuitujakaumasta. Puuvapaan ja puupitoisen paperin tiedetään käyttäytyvän tässä suhteessa hyvin eri tavoin /46/.

Monet valmistajat suosittelevat samaa väriä sekä kuitualustoille että muovialustoille. Näihin väreihin lisätään kiinnittymistä parantavaa lisäainetta, joka on yleensä liuottimen ja verkkouttajan seos. Lisäaine nostaa värin liuotinainepitoisuutta mutta parantaa kiinnittymistä muoveihin. Lisäaineita käytetään noin 2-6% värin määrästä. Lisäaineista huolimatta ei varsinkaan vaikeille muovilaaduille, kuten polystyreenille ja käsittelemättömälle polyesterille, voida vielä taata kestävyyttä pitkäaikaiseen ulkokäyttöön /4,8/. Pitkäaikaisella käytöllä tarkoitetaan tässä useita vuosia.

Kustannuksiltaan vesipohjaiset värit vastaavat liuotinpohjaisia tai ovat jopa niitä kalliimpia. Tätä valmistajat perustelevat vesipohjaisten värien kalliimmilla pigmenteillä ja joillakin erikoishartseilla. Muutenhan vesipohjaisten tulisi olla liuotinpohjaisia värejä halvempia, koska vesipohjaisissa kallis liuotin on korvattu halvalla vedellä. Koeluontoisesti tutkittiin viiden vesipohjaisen ja yhden liuotinpohjaisen värin hankintakustannuksia. Tiedot on kerätty Kirjapaino Lönnbergin osasto Mainos ja Etiketin värien ostohinnoista. Värikohtainen hinnan vaihteluväli syntyy tilauserän koosta ja siitä, kuinka suuret ostot kuhunkin väriin vuositasolla muodostuu. On huomattava että myös värin sävy vaikuttaa suuresti värin hintaan. Tästä syystä väreistä vertailtiin nelivärisarjan hintaa. Vesipohjaisista väreistä halvin oli SunChemicals Passad AQ, hinnaltaan n. 65-90 mk/kg. Miltei saman hintaiseksi havaittiin Sericolin Aquacolor QL, jonka hinta vaihteli välillä 75-90 mk/kg. Jonkin verran edellämainittuja värejä kalliimpi oli Wiederholdin WFP 120-180 mk/kg. Kalleimpia väreistä olivat Maraboun Maguagloss ja Prölin Aquajet FGL, joiden hinta oli jopa 280 mk/kg. Kalleimmissa väreissä vaikutti pienen tilauserän koko sekä värien vuositasolla pienet ostoerät. Liuotinpohjaisen SunChemicals 570-nelivärisarjan värien hinta vaihteli välillä 50-60 mk/kg.



## 5 VESIPOHJAISET VÄRIT YMPÄRISTÖNSUOJELUN NÄKÖKULMASTA TARKASTELTUINA

Ympäristönsuojelun kannalta tarkasteltuina vesipohjaiset värit tuovat parannuksia lähinnä kahteen asiaan. Niiden selvästi pienempi orgaanisten liuottimien osuus pienentää ilmaan haihtuvien liuottimien määrää ja siten kuormittavat ilman vähemmän. Myös värien ekologisesti turvallisempi koostumus pienentää haitallisten aineiden mahdollisuutta joutua luontoon. Lisäksi painotalojen paloturvallisuus paranee, koska tulenarkojen liuottimien määrä alenee. Viimeksimainitulla seikalla saattaa olla vaikutusta jopa vakuutusmaksujen määrään.

Suomen lainsäädäntö tulee muuttumaan lähiaikoina vesiensuojelulainsäädännön osalta. Se, koska muutokset astuvat voimaan, riippuu Suomen jäsenhakemuksen käsittelystä ja asioiden päätösaikatauluista Euroopan unionissa (EU). Euroopan talousalueeseen (ETA:aan) liittyessään Suomi on jo hyväksynyt sopimuksen liitteenä olevia EU:n direktiivejä, joita vesiensuojelun osalta on yhteensä 21 /38,39/. Tällä hetkellä liuotin- ja vesipohjaisiin väreihin liittyvä lainsäädäntö pohjautuu jätehuoltolakiin, lakiin yleisistä vesi- ja viemärlaitoksista sekä vesi- ja ympäristöhallintolakiin.

Liuotinpohjaisia värejä käytettäessä painokehykset puhdistetaan painamisen jälkeen värijäämistä värinpesukoneessa. Koneessa on pesuliuottimena jotakin värin liuotinta, esimerkiksi etyyliasettaattia. Koneessa on suljettu kierto, ja kun liuotin on kiertänyt aikansa koneessa, se vaihdetaan puhtaaseen uuteen liuottimeen. Vanha liuotin otetaan talteen ja toimitetaan Ekokemin ongelmajätelaitokselle tuhottavaksi. Vesipohjaisten värien tapauksessa nousee kysymys, voidaanko pesujätteet laskea yleiseen viemäriin, vai tuleeeko ne ottaa talteen ja toimittaa ongelmajätelaitoksiin.

Nykyisen vesi- ja viemärlaitoksista annetun lainsäädännön mukaisesti jokaisen verkostoon liittyjän kanssa tehdään sopimus, joka ei saa olla yleisten määräysten vastainen. Tämä sopimus määrittelee laadun jätevesille, joita käyttäjä laskee viemäriverkostoon /17,38,39/. Samoin puhdistuslaitoksen omistaja voi antaa yleisiä määräyksiä laitokseen liittymisestä ja sen käytöstä. Jätevesien laadun kannalta oleellisimpia yleisiä käyttömääräyksiä on kohdan 7.1 kielto, jonka mukaan ”viemäriin ei saa johtaa haittaa tai vahingonvaaraa tuottavasti viemärin tukkeutumista aiheuttavia aineita, myrkyllisiä kaasuja muodostavia aineita, rakenteita syövyttäviä aineita, happamuudeltaan rajojen 6,0 ja 10,0 ulkopuolelle jääviä jätevesiä, lämpötilaltaan yli +40°:sta jätevettä ja viemärlaitoksen kannalta muita vahingollisia tai myrkyllisiä aineita”.

Työryhmä, joka on asetettu pohtimaan jätevesipäästöjen raja-arvoja, on julkaissut mietintönsä asumisjätevesistä poikkeavien jätevesien johtamisesta yleiseen viemäriin. Mietintö valmistui syyskuussa 1992, ja siinä on otettu huomioon Euroopan unionin yleiset määräykset ja



päästörajat viemäristöihin laskettaville aineille. Tämän mietinnön pohjalta tullaan todennäköisesti Suomen lainsäädäntö sopeuttamaan eurooppalaiselle tasolle. Mietintö kieltää kokonaan raskasmetallien, samoin kuin erittäin tulenarkojen, veteen liukenemattomien liuottimien johtamisen viemäriin. Muille metalleille ja yhdistelle, joille asetetaan rajoituksia, on mietinnössä esitetty ainekohtaiset raja-arvot, jotka eivät saa ylittyä /17,38,39/.

Painovärien ainesosien tutkimista vaikeuttaa se, että valmistajat haluavat säilyttää tiedon väriensä valmistuksesta ja koostumuksesta tuotesalaisuutena. Tästä syystä painoväreille ei ole seoksena ympäristötekniistä luokitusta, vaan värejä on tutkittava komponenteittain. Yhdessäkään tässä työssä tutkitussa vesipohjaisessa värissä ei valmistajien omien ilmoitusten ja tuotetiedotteiden mukaan ilmoitettu olevan pigmenttien osalta raskasmetalleja. Liuottimien kohdalla tilanne on vaikeampi. Useasta väristä ei tiedetä, mitä liuotinta väri sisältää. Erittäin tulenarkoja liuottimia, kuten eetteriä, joita ei saa laskea viemäriin, värit eivät sisällä. Kyse on siis liuottimien määrästä. Muutamat värit sisältävät ammoniakkia tai ammonium-yhdisteitä. Esimerkiksi näiden enimmäispäästö määrä on 40 mg/l.

Hartseista tai seripainoväreissä käytetyistä lisäaineista ei ole erikseen mainittu päästörajoja mietinnössä. TKK:ssa tehdyn selvityksen mukaan /21/ painoväriässä olevaa hartsituotetta pidetään vaarattomana ja ympäristötekniisesti ongelmattomana. Lisäaineista julkaisu mainitsee haitalliseksi PTFE:n (polytetrafluoroetyleenin), jota käytetään vahana joissakin väreissä. Muut lisäaineissa käytetyt yhdisteet ovat todennäköisesti täysin haitattomia.

Ympäristönsuojelun kannalta on merkitystä myös haihtuvien orgaanisten liuotinpäästöjen (VOC, volatile organic compounds) määrällä. VOC-pitoisuus voidaan määritellä usealla tavalla. Eräs tapa on määrittää painohäviöprosentti (poislukien vedestä aiheutunut), joka syntyy lämmitettäessä värinäytettä yhden tunnin ajan 110°C lämpötilassa /7,13,33/. Liuotinpohjaisilla väreillä VOC-päästöjä vähennetään muissa painomenetelmissä mm. haihtumiskaasujen poltolla, biologisella hajottamisella tai liuottimien talteenotolla. Vesipohjaisilla väreillä näitä päästöjä voidaan vähentää noin 85% /2,48/. Vuonna 1988 pakkauspainatuksen arvioitiin aiheuttaneen noin 90% kaikkien painolaitosten VOC-päästöistä /21/. Vaikkakin tästä suurimman osan muodosti pakkausfleksopainatus, on seripainomenetelmällä myös merkittävä osuus näistä päästöistä. 1990-luvun puolivälissä EU-komissio tulee rajoittamaan VOC-päästöjä asettamalla rajan maksimiemissiolle. Tässä suhteessa Euroopan Unionin kaikki jäsenmaat yhdenmukaistettaisiin Saksan, Ranskan, Iso-Britannian ja Belgian lainsäädännön asettamalle tasolle /21,22/.

Vesipohjaisten värien tärkeä apuaine, etyylialkoholi, on myös orgaaninen liuotin. Jos sen määrä on suuri, nousevat haihdutusilman liuotinainepitoisuudet. Saksassa on määritelty kuivausilman etyyli-pitoisuuden maksimirajaksi 150 mg/m<sup>2</sup>, ja Suomessakin pitoisuuksiin tullaan kiinnittämään jatkossa kasvavaa huomiota.



Vesipohjaisen painoväriin siistäus on ollut vaikeaa Euroopassa käytössä olevalla vaahdotus- eli flotaatiosiistäusmenetelmällä. Vesipohjainen väri saadaan erotettua paperikuiduista paremmin Yhdysvalloissa yleisellä pesuun perustuvalla siistäusmenetelmällä. Kummassakin menetelmässä paperi pulpperoidaan ensin vesilietteeseen ja painoväripartikkelit irrotetaan paperin kuiduista. Alkaalisessa liuoksessa värin sideaineet pehmenevät ja lopulta väri irtaoo sekoituksen voimasta. Sekoitus aikaansaa lietteeseen paljon katkenneita kuituja, jotka joko muuttuvat massan hienoaineeksi tai ne menetetään siistauksessa. Pesumenetelmässä suodatetaan tämän jälkeen massasulppu seulan läpi. Paperikuidut tarttuvat seulaan ja väripartikkelit sekä hienoaines ajautuvat seulan läpi. Pesumenetelmän haittapuolia ovat suuri vedenkulutus sekä se, ettei pienempiä paperikuituja eikä paperin täyteaineita saada talteen /15, 16/.

Vaahdotusmenetelmässä sulppu johdetaan pulpperoinnin ja irrotuksen jälkeen vaahdotuskennoon. Vaahdotuskennon pohjalle synnytetään ilmakuplia joko pumpuilla tai pyörivillä lavoilla. Paperikuiduista irronneet painoväripartikkelit tarttuvat hydrofobisina eli vettähylkivinä ilmakupliin, joiden mukana ne nousevat kennon pinnalle. Paperikuidut jäävät kennon pohjalle ja väripigmentit poistetaan kennosta niiden noustua vaahdoksi pinnalle. Vesipohjaisissa painoväreissä väripartikkelit ovat liuotinväreistä poiketen hydrofiilisiä eli ne eivät hylji vettä. Tästä syystä sulpussa olevat vesipohjaiset painoväripartikkelit eivät tartu ilmakupliin vaan jäävät kennon pohjalle /15,16/. Tämän ongelman ratkaisemiseksi näyttäisi tällä hetkellä olevan kaksi mahdollisuutta. Kaksivaiheisella flotaatiosiistäusmenetelmällä, jossa yhdistetään pesu- ja vaahdotussiistauksen parhaat puolet, on saatu lupaavia tuloksia vesipohjaisen painoväriin irrottamiseksi /15/. Toisaalta pyrkimys ns. vaahdotuskollektorin (engl. universal flotation collector) aikaansaamiseksi on antanut positiivisia tuloksia /16/. Vaahdotuskollektori saa pienet, noin 1 µm suuruiset värihiukkaset tarttumaan toisiinsa ja muodostamaan suuremman, halkaisijaltaan yli 20 µm aggregaatin. Vaahdotuskollektorit tarttuvat tähän aggregaattiin siten, että kollektorin vettähylkivä puoli jää päällimmäiseksi. Näin muodostunut suurempi hiukkanen pystyy tarttumaan ilmakuplaan ja siten siistautumaan. Vaahdotuskollektorin kemiallisia rakenteita ei ole julkistettu, mutta niillä on jo nyt saavutettu suuria parannuksia vesipohjaisten värien siistauksessa /16/. Molemmat edelläesitetyt menetelmät vesipohjaisten värien siistautuvuuden parantamiseksi vaahdotusmenetelmällä ovat kuitenkin vielä kehitymässä.

## KOKEELLINEN OSA

### 6 KOKEIDEN LÄHTÖKOHTA JA TAVOITTEET

#### 6.1 Kohdeyrityksen esittely

Kirjapaino Lönnberg Oy on Werner Söderström Osakeyhtiön kokonaan omistama kirjapaino, joka on erikoistunut korkealaatuisiin mainospainotuotteisiin. Kirjapaino Lönnberg Oy:n liikevaihto oli vuonna 1993 noin 63 miljoonaa markkaa ja henkilöstön määrä oli keskimäärin 133. Kirjapaino Lönnberg Oy:n tuotantoyksiköt ovat arkkioffsetpainot F.G.Lönnberg ja Sävypaino sekä seripaino Mainos ja Etiketti. Mainos ja Etiketin henkilöstömäärä on 27 ja sen päätuotteita ovat nelivärityöt, UV-aihiolakkaukset, julisteet, myymälämainokset kuten esim. riippuvat mobilet, myymälätelineet ja jättistandyt, tarrat, postituslaatikot sekä tuote- ja esittelypakkaukset. Mainos ja Etiketin omien tilastojen mukaan talon painotöistä mainospahvityöt muodostavat suurimman ryhmän eli noin 25%. Seuraavana ovat julisteet ja tarratyöt, molemmat noin 20% osuudella. Aaltopahvitöiden osuus on noin 15%:a ja PVC-töiden noin 10%. Lopun osan muodostavat sekalaiset työt. Painossa käytetään vuosittain noin 5000 kg värejä, 600 kg lakkoja ja apuaineita sekä 6000 kg liuottimia. Seripainovärien kokonaiskulutus Suomessa on noin 130 tonnia vuodessa, josta kaupallisten seripainojen osuus on noin 60 tonnia. Vuonna 1993 vesipohjaisten värien kokonaiskulutus seripainoissa oli noin 3 tonnia.

Mainos ja Etiketin konekanta koostuu neljästä automaattisylinteriseripainokoneesta, joista kolme on varustettu UV-kuivausyksiköllä. Lisäksi on yksi automaattitasokone ja yksi käsipöytä. Painokoneet sekä niiden painonopeudet ja suurimmat painoalat on esitetty taulukossa 4. Jälkikäsittelyssä käytetään Titan tiikeli stanssauskoneita ja Polar leikkureita.

TAULUKKO 4. Mainos ja Etiketin painokoneet ja niiden suurimmat painoalat.

<u>Painokone</u>	<u>Painonopeus</u> (arkkia/h)	<u>Suurin paino-</u> <u>pinta-ala</u>	<u>Suurin paino-</u> <u>arkki</u>
Svecia Sectaspeed UV-sylinteri	1300-2500 *	88 x 63 cm	90 x 66 cm
Svecia Master Speed UV-sylinteri	1300-2500 *	122 x 82 cm	126 x 88 cm
Svecia Secta High Speed UV-sylinteri	1300-3000 *	103 x 72 cm	104 x 74 cm
Cilinderscreen sylinteri	1300-2500 *	68 x 48 cm	69 x 49 cm
Siasprint Serifast tasoautomaatti	käsisyöttö	126 x 90 cm	130 x 95 cm

\* riippuen materiaalista



## 6.2 Kokeiden tavoitteet ja käytetyt materiaalit

Kokeiden tavoitteena oli selvittää nykyisten vesipohjaisten haihtumalla kuivuvien seripainovärien käyttömahdollisuuksia tuotannossa. Tarkoituksena oli testata värien ominaisuuksia ja painatuskäyttäytymistä sekä verrata niitä perinteisiin liuotinpohjaisiin väreihin.

Kokeiden ensimmäinen osa suoritettiin Teknillisen korkeakoulun (TKK:n) graafisen tekniikan laboratoriossa. Väreistä mitattiin laboratorion Bohlin Vor reometrillä viskositeetit ohentamattomana sekä 5%, 10% ja 15% ohennuksilla. Viskositeetin muutokset lämpötilan funktiona mitattiin reometrin lämpötilagradienttiohjelmalla lämpötilan noustessa välillä 15-50°C. Tällöin leikkausnopeus oli vakio 504 s<sup>-1</sup>. Kyseinen leikkausnopeus valittiin siksi, että se edustaa hyvin keskimääräisiä tuotannossa esiintyviä leikkausnopeuksia. Lämpötilaa nostettiin 15°C:sta 50°C:een nopeudella 1°C/16 sekuntia. Värien pH-arvot sekä viskoelastisuusmittaukset suoritettiin vakiolämpötilassa 25°C. Reometrimittausten perusteella määritettiin laskennalliset arvot värien tiksotropialle, juoksurajalle ja pituudelle.

Laboratorion Perkin-Elmer termovaalla tutkittiin värien ainesosien haihtumista. Termovaan tulosten perusteella pääteltiin värin sisältämien aineiden haihtumispisteitä ja prosentuaalisia osuuksia. Näistä tiedoista pyrittiin selvittämään värien koostumusta. Kokeissa värinäytettä kuumennettiin vaakalaitteiston uunissa 30:stä 650°C:een lämpötilan nostonopeuden ollessa 20°C/min. Värimäärä pyrittiin pitämään noin 10mg:ssa, jotta tulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia.

Koska yksikään väri ei edellämäinittujen tulosten perusteella osoittautunut seripainatukseen soveltumattomaksi, jatkettiin kokeita kaikilla vesipohjaisilla väreillä painatustestein. Painatustesteissä laboratoriossa painettiin käsipöydällä täyspeitteisiä painopintoja, jotka kuivattiin Fogra Hot uunikuivaimessa. Kuivauksen jälkeen painopintaa hangattiin kuivana 30 ja 60 sekunnin ja kosteana yhden vuorokauden kuluttua painatuksesta. Valkoisista hankausliuskoista mitattiin siirtynyt värimäärä densitometrillä. Painetuista väripinnoista mitattiin myös kiilto ja värillisyyys.

Painoalustana testeissä käytettiin 3 mm Enson PankaScreen mainospahvia ja valkoisia 0,25 mm PVC-muoviarkkeja. Nämä ovat yleisimpiä vesipohjaisten värien kuitu- ja muovipainoalustoja. Mainospahvi valittiin aaltopahvin sijaan painoalustaksi siitä syystä, että mainospahvi laadukkaampana materiaalina tuo selvemmin esiin värien erot, eivätkä aaltopahvin laatu vaihtelut siten pääse vaikuttamaan lopputulokseen.

Laboratoriopainatusten ja -testien perusteella valittiin värit tuotantomittakaavaisiin koepainatuksiin. Nämä suoritettiin kahden päivän aikana Mainos ja Etiketin tuotantoyksikössä

Helsingin Malminkartanossa. Tuotantopainatuksissa painoalustana käytettiin 1,5 mm Enson PankaScreen mainospahvia, papereita neliömassoiltaan 170-240 g/m<sup>2</sup> sekä Walkin miniaaltopahvia. Tuotantopainatusten koemateriaalit ja -olosuhteet on kerrottu tarkemmin luvun 8 ("Koepainatukset tuotantopainokoneella") alussa.

Testeissä tutkittiin kahdeksaa vesipohjaista sekä yhtä niinsanottua haitatonta seripainoväriä, ja vertailuväreinä käytettiin kahta liuotinpohjaista väriä. Testatut värit on esitetty taulukossa 5. Haitattomaksi luokiteltu Maraboun Libragloss ei ole varsinainen vesipohjainen väri, mutta sen valmistuksessa ei ole käytetty aineita, jotka on luokiteltu haitallisiksi tai ärsyttäviksi /26/. Väri valittiin mukaan siksi, että voidaan nähdä tämäntyypin värin käyttömahdollisuudet vesipohjaisiin ja liuotinväriin verrattuna. Liuotinpohjaiset värit on merkitty kursiivilla. Värisävyksi laboratoriotesteihin valittiin nelivärisarjan magenta väri, koska tiedettiin, että perinteisiä magentapigmenttejä on jouduttu korvaamaan uusilla hieman erisävyisillä magentapigmenteillä. Sericolin ja Wiederholdin WFK väreistä oli saatavana testiajankohtana vain Din-sarjan pigmenttejä, muut nelivärisarjan pigmentit olivat Mainos ja Etiketissä käytettyä Eurooppa-sarjaa. Pröllin väristä ei kyseisenä ajankohtana ollut saatavissa nelivärisarjaa, vaan ainoastaan lisävärejä. Prölliltä valittiin lähinnä magentaa oleva punainen sävy, joka oli ns. brilliant red.

Taulukko 5. Kokeissa käytetyt painovärit.

1.	SunChemical Passad AQ-51
2.	Sericol Aquacolor QL
3.	Seriväri AQ 6000
4.	Seriväri AQ 6000 vinyl
5.	Marabou Maguagloss MAG
6.	<i>Marabou Libragloss LIG</i>
7.	Pröll Aqua-jet FGL
8.	Wiederhold WFP
9.	Wiederhold WFK
10.	<i>SunChemical 570</i>
11.	<i>SunChemical 590</i>

Värit valittiin saatavuuden ja yleisten valmistajasta tiedettyjen tietojen perusteella. Toisin sanoen testiin pyrittiin valitsemaan tunnetuimpien valmistajien värejä. Kokeilumielessä mukaan otettiin suomalaisen Serivärin valmistamat vesipohjaiset värit muoville ja kuitualustoille. Muut mukana olleet värit olivat ulkomailla valmistettuja. Vertailuväreinä käytetyt SunChemicals 570- ja 590-sarjan liuotinvärit ovat tyypillisiä kohdeyrityksessä käytössä olevia värejä. Sarja 570 on tarkoitettu kuitualustoille ja sarja 590 muoville. Liuotinväreillä ei voitu suorittaa koepainatuksia



käsi­pöydällä, sillä laboratoriossa ei ollut laitteita, joita tarvitaan liuotinvä­rin pesemiseksi se­ulalta. Liuotinväreistä suoritettiin siksi vain suoraan väristä tehtävät mää­ritykset. Kaikki värit testattiin myös peruskoostumuksessaan, eli niihin ei lisätty mitään apuaineita ennen testausta. Tämä siksi, että värit säilyivät vertailukelpoisina toisiinsa nähden. Esimerkiksi värien kiiltoa olisi ollut joissakin väreissä mahdollista parantaa lisäämällä silikon­ia.

## 7 PAINOVÄRIEN OMINAISUUDET

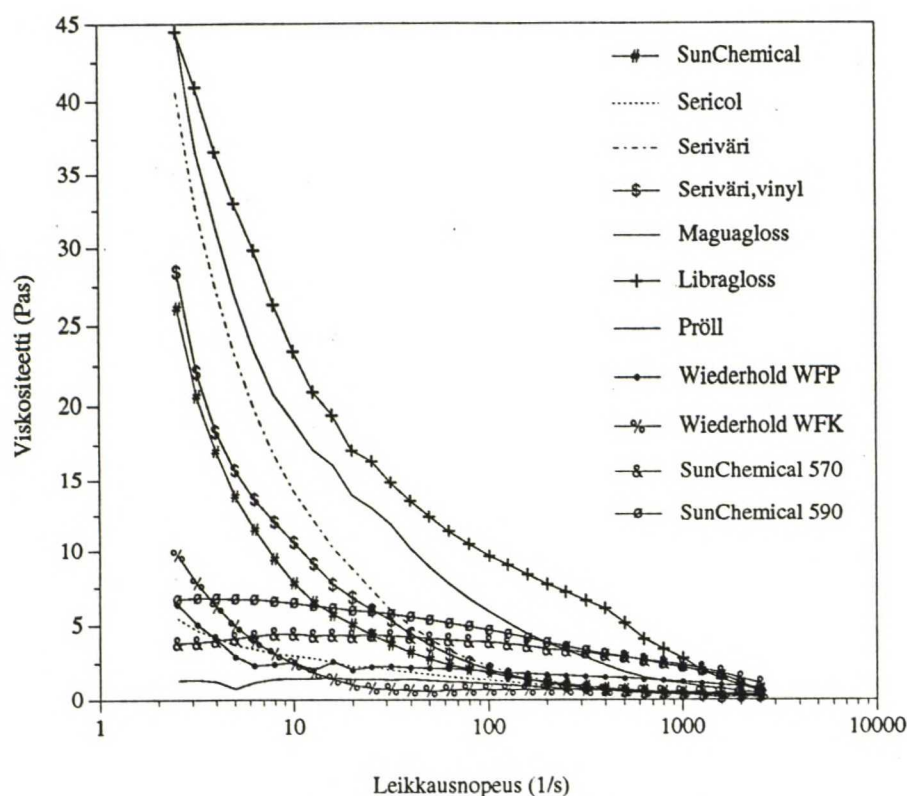
### 7.1 Reologiset ominaisuudet

Reologisista ominaisuuksista sekä viskositeetti että tahmeus ovat tärkeitä muuttujia pyrittäessä ennustamaan seripainovärien käyttäytymistä painatuksessa. Seripainovärejä kuvataan usein lyhyiksi ja ”voimaisiksi”. Nämä ominaisuudet antavat terävän painojäljen /23/. Kuitenkin esimerkiksi kiiltovärien tulee olla viskositeetiltaan melko alhaisia, jotta saavutetaan hyvä kiilto, koska muuten vä­rin sisäisestä koheesiosta johtuen väripinta ei ehdi tasoittua riittävästi ennenkuin väri on kuivunut /9/. Jos painovärillä on liian alhainen viskositeetti, saattaa painoväri alkaa kuplia alustallaan, eikä värikerros kuivu tasaiseksi. Samoin paperi tarttuu helpommin painokehyksen alapintaan nostettaessa kehys ylös raakelin vedon jälkeen /23/. Reologiamittauksista saadut tulokset on esitetty liitteessä 1.

#### 7.1.1 Viskositeetti

TKK:n graafisen tekniikan laboratorion Bohlin Vor reometri on kytketty tietokoneeseen, joka mahdollistaa reometrin ohjauksen, tulosten graafisen esittäminen, tallentamisen ja tulostamisen. Reometriin on myös yhdistetty lämpöyksikkö, joka tietokoneelta saatujen ohjauskäskyjen mukaan sää­taa mittapään lämpötilaa. Mittauksissa käytettiin seripainoväreille soveltuvinta mittapää­tä CP 1/30, joka on kartio-taso-geometria. Kartion kallistuskulma on 1°, halkaisija 30 mm ja mittarako 30 µm. Vastajousena käytettiin tälle mittageometrialle soveltuvaa joustaa, jonka jousivakio oli 304,688 g/cm.

Tuotannossa värit joutuvat alttiiksi leikkausnopeuksille, jotka vaikuttavat noin 0 - 2000 s<sup>-1</sup>:n alueella. Alhaisimpia leikkausnopeuksia esiintyy vä­rin ollessa painoseulalla tai paperilla ja korkeimpia nopeissa sylinteripainokoneissa värinsiirtotapahtumassa. Tästä syystä viskositeettimittaukset suoritettiin vastaavan laajuisella leikkausnopeusalueella 31 eri nopeudella välillä 2,52-2530 s<sup>-1</sup>. Mittaukset suoritettiin sekä kasvavan että laskevan leikkausnopeuden funktiona. Kustakin mittauksesta suoritettiin vähintään kolme rinnakkais­määritystä.



Kuva 9. Testattujen värien viskositeetti leikkausnopeuden funktiona.

Värien viskositeetti leikkausnopeuden funktiona on esitetty kuvassa 9. Seripainovärien viskositeettitaso asettui tasolle 1-50 Pas, eli värien viskositeeteissa oli suurta keskinäistä eroa. Kaikki värit kestivät suurimman käytetyn leikkausnopeuden murtumatta. Kaikki vesipohjaiset värit olivat leikkausohenevia, tosin Pröllin väri vain hieman. Leikkausohenevyys ilmenee viskositeetin laskuna leikkausnopeuden kasvaessa. SunChemicalsien vertailuna käytetyt liuotinvärit ovat viskositeettitasoltaan noin 1...6 Pas:in välillä, eli ne ovat verraten matalaviskoottisia. SunChemicalsien 570-sarjan väri on alussa hieman leikkauspaksunevaa eli dilatantia, mutta muuttuu  $12 \text{ s}^{-1}$  leikkausnopeuden jälkeen leikkausohenevaksi. 590-sarjan muoviväri on koko nopeusalueen leikkausohenevä. Värien viskositeettierot tasaantuivat noin  $30 \text{ s}^{-1}$  leikkausnopeudella lukuunottamatta Maraboun Maguagloss- ja Libragloss-värejä, jotka vielä tällöinkin olivat selvästi muita värejä viskoottisempia. Viskositeettitulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Värien viskositeetit eri leikkausnopeuksilla.

Väri	Viskositeetti Pas							
	$2,52 \text{ s}^{-1}$	$5,04 \text{ s}^{-1}$	$10,08 \text{ s}^{-1}$	$50,48 \text{ s}^{-1}$	$101,6 \text{ s}^{-1}$	$504 \text{ s}^{-1}$	$1008 \text{ s}^{-1}$	$2530 \text{ s}^{-1}$
SunChem	26,07	13,90	7,80	2,77	1,85	0,68	0,46	0,28
Sericol	5,45	3,69	2,96	1,71	1,36	0,65	0,47	0,31
Seriväri	40,59	23,19	14,22	4,07	2,26	0,66	0,42	0,24
Seriväri vin.	28,37	15,72	10,57	3,65	2,07	0,54	0,33	0,18



<u>Väri</u>	<u>Viskositeetti Pas</u>							
	<u>2,52s<sup>-1</sup></u>	<u>5,04s<sup>-1</sup></u>	<u>10,08s<sup>-1</sup></u>	<u>50,48s<sup>-1</sup></u>	<u>101,6s<sup>-1</sup></u>	<u>504s<sup>-1</sup></u>	<u>1008s<sup>-1</sup></u>	<u>2530s<sup>-1</sup></u>
Maguagloss	44,74	26,94	19,01	8,84	5,85	1,89	1,07	0,46
Libragloss	44,48	32,89	23,32	12,38	9,65	5,12	2,78	0,57
Pröll	1,33	0,72	1,43	1,30	1,10	0,55	0,38	0,23
Wieder WFP	6,34	2,91	2,55	2,140	1,91	1,47	1,22	0,83
Wieder WFK	9,70	4,93	2,42	0,58	0,70	0,60	0,50	0,35
SunC. 570	3,81	4,12	4,41	4,10	3,88	2,88	2,35	1,10
SunC. 570	6,68	6,71	6,44	5,33	4,68	2,87	2,17	0,63

Ääripäitä edustivat Pröllin pienin ja Maguaglossin suurin viskositeetti vesipohjaisista väreistä. Värien viskositeettien ero oli kymmenkertainen. Muut värit asettuivat näiden kahden värin välille. Värien välinen viskositeettiero osoittaa hyvin sen, kuinka suuret erot seripainovärien välillä saattaa olla värien ominaisuuksissa, mutta kuitenkin molemmat värit ovat tuotannollisesti toimivia.

Vesipohjaisten värien pH-arvon on todettu vaikuttavan voimakkaasti värin ominaisuuksiin, mm. värin viskositeettiin ja virtausominaisuuksiin. Teorian mukaan /8,18,32/ pH-arvon tulisi pysyä mahdollisimman lähellä neutraalia aluetta eli pH 7:ää. Tästä syystä myös värien pH:t mitattiin. Mittaus suoritettiin pH-indikaattoriliuskoilla, jotka ilmoittavat tuloksen kokonaislukuna välillä 1-14. Taulukossa 7 on esitetty värien pH-arvot. Taulukosta havaitaan liuotinvärien happamammat pH-lukemat verrattuna vesipohjaisiin väreihin. Vesipohjaisista Wiederhold WFK ja Seriväri vinyl olivat kauimpana neutraalilta alueelta.

Taulukko 7. Testattujen painovärien pH-arvot 25°C lämpötilassa.

<u>Väri</u>	<u>pH-arvo</u>
SunChemical Passad AQ-51	6
Sericol Aquacolor QL	6
Seriväri AQ 6000	7
Seriväri AQ 6000 vinyl	5
Marabou Maguagloss MAG	6
Marabou Libragloss LIG	4
Pröll Aqua-jet FGL	6
Wiederhold WFP	6
Wiederhold WFK	5
SunChemical 570	4
SunChemical 590	4

Koska oikean ohennussuhteen löytäminen vesipohjaisille väreille on kriittisempää kuivauksen kannalta kuin liuotinväreille, suoritettiin värien viskositeetin mittaukset 5%, 10% ja 15% ohennuksilla. Vesipohjaisissa väreissä viskositeetin alentaminen suoritetaan ohentamalla väriä 0-15%:lla vettä tai valmistajan suositusten mukaisesti erityisellä vesipohjaisen värien ohennusaineella. Ohennusaineet laskevat viskositeettitasoa nopeammin kuin pelkkä veden lisääminen. Ohennusaineet sisältävät yleensä myös joitakin painamisen apuaineita, kuten virtausominaisuuksia parantavia aineita sekä pH:n säätöaineita. Laboratoriotesteissä ohennukseen käytettiin tislattua vettä sekä Sericolin väriin myös värinvalmistajan omaa ohennusainetta Sericolin ZC-656 Aquacolor Detail Thinneriä, jota suositellaan ohennukseen 10%:iin asti. Värien viskositeetit ohennuksessa ja viskositeetin prosenttuaalinen lasku on esitetty taulukossa 8.

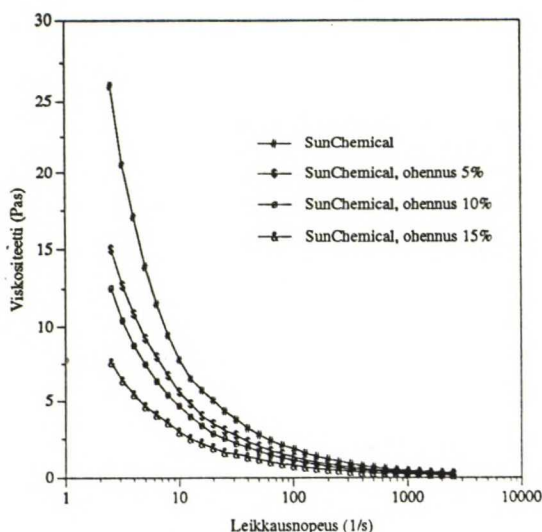
Taulukko 8. Painovärien viskositeetit ohentamattomina ja 5%, 10% ja 15% ohennuksilla sekä viskositeetin prosenttuaalinen lasku  $504 \text{ s}^{-1}$  leikkausnopeudella.

Painoväri	Viskosi- teetti	5% ohennus		10% ohennus		15% ohennus	
		Viskosit.	% lasku	Viskosit.	% lasku	Viskosit.	% lasku
SunChem	0,68	0,51	25,0	0,43	36,8	0,31	54,4
Sericol	0,79	0,85	-7,3	0,86	-8,2	0,83	-4,7
Sericol detail thin.	0,79	0,56	29,6	0,38	51,3	0,35	55,6
Seriväri	0,66	0,67	-1,5	0,61	6,4	0,55	15,5
Seriväri v.	0,54	0,41	24,4	0,32	41,0	0,23	56,3
Maguag.	1,89	1,52	19,4	1,26	33,5	0,740	60,9
Librag.	5,12	4,07	20,5	3,18	37,8	2,35	54,0
Pröll	0,55	0,39	29,1	0,32	41,0	0,14	74,9
WFP	1,47	1,37	6,7	0,96	34,9	0,70	52,4
WFK	0,63	0,59	5,8	0,37	41,0	0,33	46,9

Värien ohennuskäyttäytyminen poikkesi myös suuresti toisistaan. Värien lähtöviskositeeteilla valmistajien suosittelemat 15% ohennukset tuntuivat liian suurilta. Tällä ohennusasteella monella värillä ilmeni yliohtamista, jonka seurauksena värien viskositeetti muuttui epästabiiliksi. Näin suuri ohennusaste on perusteltu luultavasti silloin, kun värien valmistamisesta on kulunut enemmän aikaa ja väristä on haihtunut osa sen liuottimista. Laboratoriossa ohennettaessa värit olivat melko uusia, eikä astioiden avaamisesta johtuvaa haihtumista ollut päässyt tapahtumaan. Ohennus 15% suuruisena oli perusteltua viskositeetin säätämiseksi vain Serivärien paperivärillä ja Maguaglossilla. Useimmilla väreillä riitti 5% ohennus.

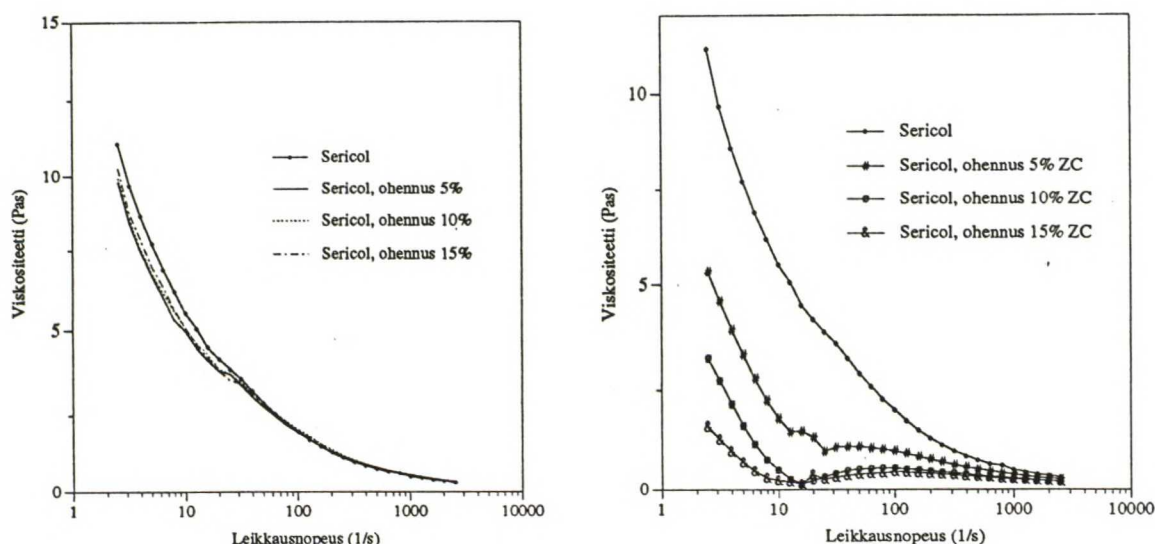


SunChemicalsın väri oli ohentamattomana viskositeettitasoltaan keskivaiheilla. Värin ohennukseen valmistaja suosittelee vain muutamaa prosenttia vesijohtovettä. Kuvassa 10 nähdään, että veden lisäys väriin alentaa tasaisesti värin viskositeettia. Ensimmäinen viiden prosentin lisäys alentaa viskositeettia eniten, sen jälkeen aleneminen on tasaista mutta hieman pienempää. Viskositeetti pysyy tasaisena aina 15% ohennukseen asti.



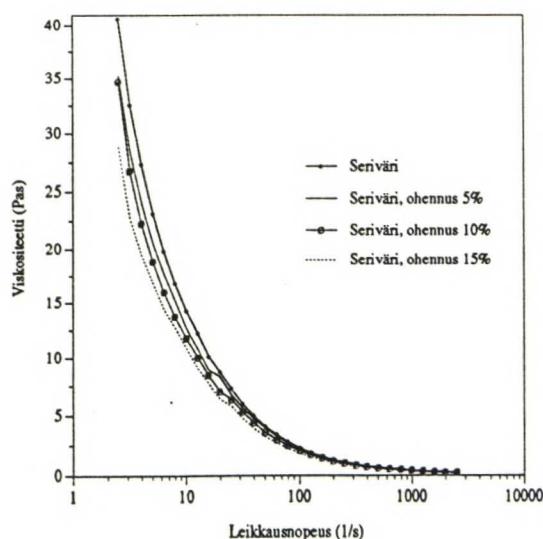
Kuva 10. SunChemicalsın Passad AQ-värin ohennuskäyttäytyminen.

Sericolin värin viskositeettitaso oli myös keskitasoa, ollen suurimmillaan noin 11 Pas. Valmistaja suosittelee ohennukseen vettä tai Sericolin omaa ZC-656 Aquacolor Detail Thinneriä, aina 10 prosenttiin asti. Ohennin sisältää yhtä tai useampaa herkästi haihtuvaa liuotinta sekä joitakin painamisen apuaineita. Ohentimen käyttö saattaa valmistajan mukaan huonontaa värin vedenkestoa. Kuvassa 11 a) on esitetty Sericolin värin viskositeetin muutokset vedellä ohennettuna ja kuvassa 11 b) ZC-656 nesteellä ohennettuna. Vedellä suoritettu ohennus laski viskositeettia vain hyvin vähän, noin yhden Pas:in pienimmillä leikkausnopeuksilla. Suurilla leikkausnopeuksilla eroa ei ollut huomattavissa. Samoin, kun vettä lisättiin enemmän kuin 5% viskositeetti ei enää laskenut. Sen sijaan käytettäessä ohenninta ZC-656, viskositeetti laski selvästi enemmän, ja aina 15% lisäykseen asti oli havaittavissa selvä viskositeettitason pudotus. Leikkausnopeudella noin  $20 \text{ s}^{-1}$  oli huomattavissa lievä viskositeetin nousu, jonka jälkeen viskositeetti taas kääntyi laskuun. Tämä johtuu luultavasti siitä, että värin sisäiset partikkelit ovat alhaisella leikkausnopeudella veden aiheuttaman ohentamisen johdosta suuntautumattomia. Leikkausnopeuden kasvaessa partikkelit suuntautuvat liikkeen suuntaisesti ja vähentävät sisäistä kitkaa, mikä taas saa viskositeetin laskuun.

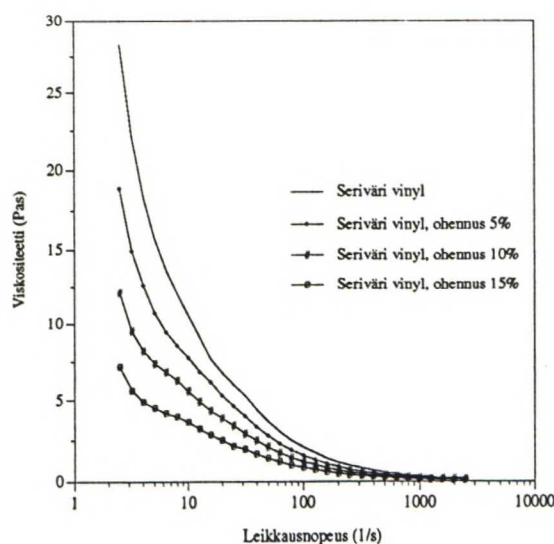


Kuva 11. Sericolin Aquacolor QL värin ohennuskäyttäytyminen ohennettuna a) vedellä ja b) Aquacolor detail thinnerillä.

Serivärin molemmat värit olivat viskositeettitasoltaan hyvin korkeita, mikä oli odotettavissakin johtuen niiden hyytelömäisestä luonteesta. Serivärin AQ6000-väriässä (kuva 12) viskositeetin lasku on hyvin pientä kunkin 5% veden lisäyksen jälkeen. 15% veden lisäyksen jälkeenkin viskositeetti oli laskenut vain noin 10 Pas ja korkeammilla leikkausnopeuksilla huomattavasti vähemmän. Serivärin hyytelövärit eivät luonteensa vuoksi tarvitse juurikaan ohennusta ja aiheuttavat liikaa ohennettuna kuivumisongelmia ja epätasaista painojälkeä.



Kuva 12. Serivärin AQ6000-värin ohennuskäyttäytyminen.



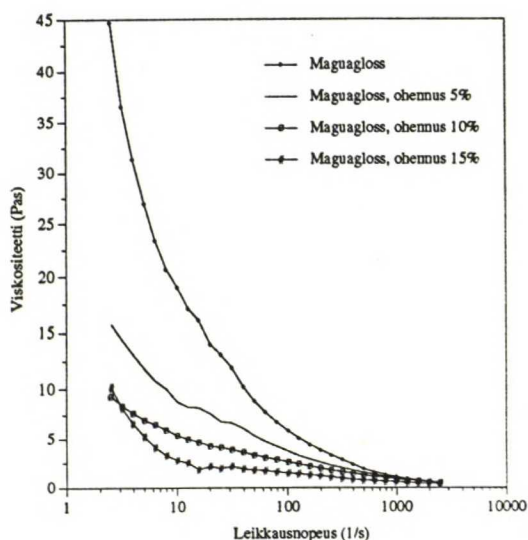
Kuva 13. Serivärin AQ6000 vinyl-värin ohennuskäyttäytyminen.

Serivärin AQ6000 vinyl oli hieman vastaavaa paperiväriä juoksevampaa (kuva 13). Sen viskositeetti leikkausnopeudella  $2,52 \text{ s}^{-1}$  oli 28,4 Pas. Väri kuitenkin ohentui helposti ja 5%

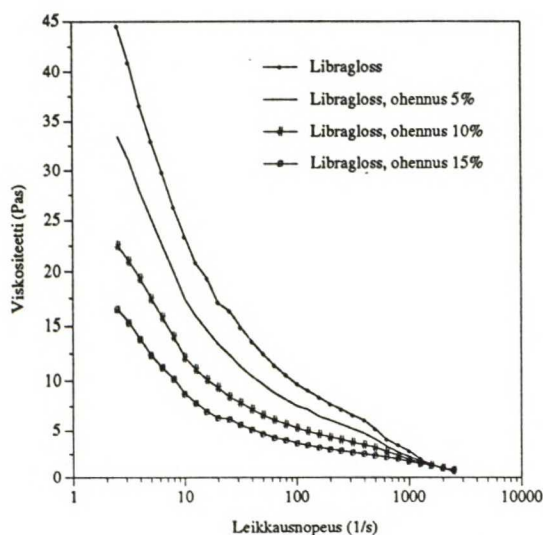


ohennuksen jälkeen viskositeetti laski jopa 10 Pas. Viskositeetin lasku oli melko tasaista aina 15% ohennukseen asti.

Maraboun Maguagloss ja Libragloss olivat väreistä korkeaviskoottisimmat. Maguaglossissa (kuva 14) 5% ohennus aiheutti huomattavan viskositeettitasen laskun, enemmän ohennettaessa viskositeetti laski hitaammin. Valmistaja suosittelee ohennukseen 10-15% vettä, mikä laskee painoviskositeetin jo melko alhaiselle tasolle.



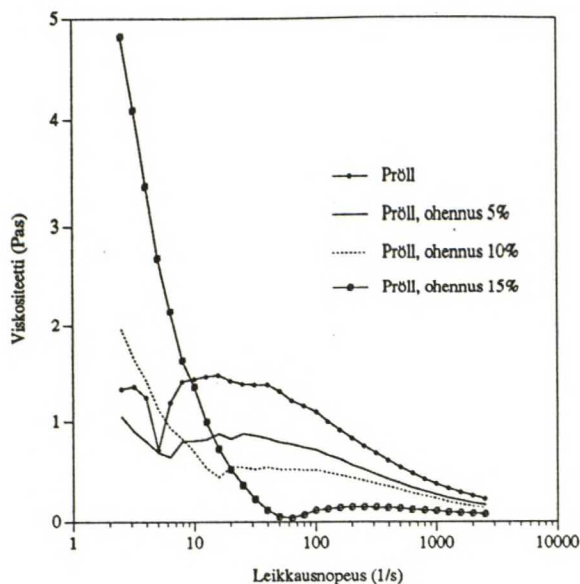
Kuva 14. Maraboun Maguagloss-väriin ohennuskäyttäytyminen.



Kuva 15. Maraboun Libragloss-väriin ohennuskäyttäytyminen.

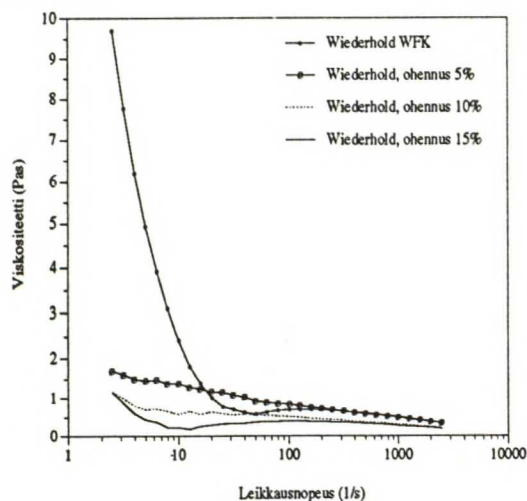
Libragloss väriässä (kuva 15) viskositeetin lasku on tasaista 5% - 15% ohennuksien välillä. Ohenteena käytetään valmistajan omaa ainetta, joka ei ole vettä, mutta ei myöskään haitalliseksi luokiteltua liuotinta. Ohjeita ohentamisesta ei tuotetiedote anna, mutta yliohtaminen ei tässä väriässä ole vaarana nopeahkon haihtumisen johdosta. Myös väriin oheneminen tapahtuu tasaisesti.

Pröllin Aquajet FGL oli väreistä matalaviskoottisin. Väriin tuotetiedote ei anna tarkempia tietoja väriin ohentamisesta. Väriin alhaisen viskositeetin vuoksi ohentaminen lienee tarpeetonta. Väriin viskositeetti ohentamattomana ei noussut yli 2 Pas. Viiden prosentin ohennuksella viskositeetti laski noin puoli yksikköä, mutta lisäohennukset saivat väriin viskositeetin kasvamaan pienillä leikkausnopeuksilla. Viskositeetit laskivat kuitenkin ohentamattoman alapuolelle yli  $10 \text{ s}^{-1}$  leikkausnopeuksilla. Tämä saattaa johtua veden viskoottisista ominaisuuksista pienillä leikkausnopeuksilla. Mittauksissa vedelle saatiin laskevalla leikkausnopeuskäyrän osalla nopeuden ollessa alle  $50 \text{ s}^{-1}$  jopa yli 100 Pas:in arvoja. Suuremmilla nopeuksilla viskositeetti oli luokkaa 0,01-1 Pas. Väriin viskositeettikäyrät leikkausnopeuden funktiona on esitetty kuvassa 16.

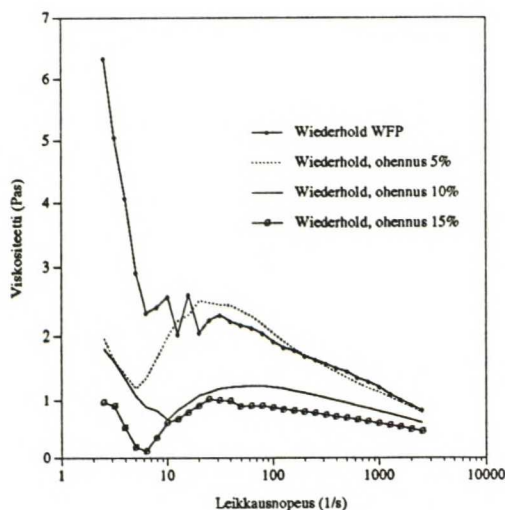


Kuva 16. Pröll Aquajet FGL-väriin ohennuskäyttäytyminen.

Wiederholdin paperiväri WFP on viskositeetiltaan myös melko tasaista (kuva 17). Suuria vaihteluita virtauskäyttäytymisessä esiintyi alle  $50 \text{ s}^{-1}$  leikkausnopeuksilla, minkä jälkeen viskositeetti tasaantui. Myös Wiederholdin väriässä esiintyi ilmeisesti liikaohentamisesta johtunut viskositeetin notkahdus pienemmillä leikkausnopeuksilla. Tämä näkyi noin  $10 \text{ s}^{-1}$  leikkausnopeudella ja aiheuttaja on luultavasti sama kuin Pröllin väriässä. Wiederholdin väri on hyvin matalaviskootista, mutta silti valmistaja suosittelee sille tarvittaessa 5-10% ohennusta vedellä.



Kuva 17. Wiederhold WFK-väriin ohennuskäyttäytyminen.



Kuva 18. Wiederhold WFP-väriin ohennuskäyttäytyminen.

Wiederholdin muoviväri WFK:n (kuva 18) käyttäytyminen poikkesi suuresti saman valmistajan paperiväristä. Lähtöviskositeetti oli lähes samalla tasolla, mutta oheneminen tapahtui nopeasti ja ilman viskositeetin nopeita epätasaisia muutoksia ylös ja alas. Jo 5% ohennuksella viskositeetti laski alle 2 Pas:in eivätkä lisäohennukset laskeneet viskositeettia enää merkittävästi.

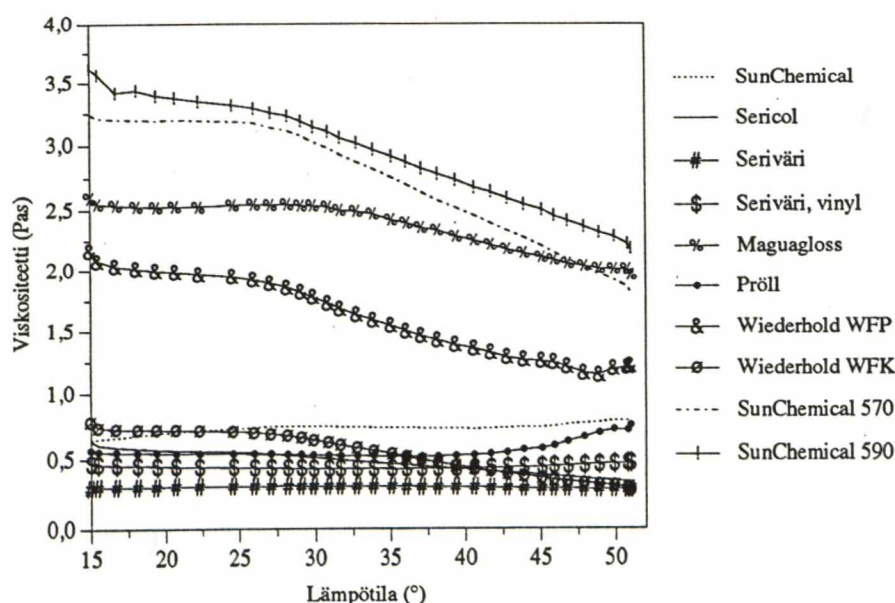


Viskositeetin lämpötilariippuvuus mitattiin reometrin lämpötilagradienttiosjelmalla. Lämpötila nostettiin 15°C:ta 50°C:seen noin 10 minuutissa. Suurimmillaankin painokoneen värinsiirto-osissa lämpötila jää alle 40°C:een. On kuitenkin huomattava että kokeessa kuivumista rajoitti värin sijaitseminen kahden tason välissä, jossa vapaata ilmapintaa oli hyvin vähän. Värien viskositeettien arvot 5°C välein leikkausnopeudella 504 1/s on esitetty taulukossa 9. Viskositeetin lämpötilariippuvuutta tarkasteltaessa huomattiin viskositeetin muuttuvan vain hyvin vähän lämpötilan vaihdella välillä 15-55°C. Pääasiassa viskositeetti alkoi muuttua vasta yli 35°C lämpötiloissa. Näin korkeita lämpötiloja ei normaalioloissa esiinny värin ollessa painoseulalla.

Taulukko 9. Värien viskositeetit lämpötilavälillä 15-50°C leikkausnopeudella 504 1/s.

<u>Väri</u>	<u>Viskositeetti Pas</u>							
	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C
SunChem	0,64	0,70	0,73	0,75	0,74	0,73	0,74	0,79
Sericol	0,63	0,57	0,55	0,51	0,47	0,42	0,39	0,33
Seriväri	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,28
Seriväri vin.	0,47	0,45	0,44	0,43	0,43	0,43	0,44	0,47
Maguagloss	2,56	2,52	2,54	2,53	2,42	2,25	2,11	2,02
Pröll	0,56	0,54	0,54	0,53	0,52	0,53	0,58	0,72
Wieder WFP	2,17	2,00	1,95	1,78	1,55	1,36	1,26	1,21
Wieder WFK	0,78	0,72	0,71	0,64	0,54	0,43	0,36	0,29

Kuvassa 19 on esitetty värien viskoottinen käyttäytyminen lämpötilan funktiona. Serivärien molempien värien viskositeetti pysyy melko tasaisena koko lämpötila-alueen. Pröllin värin viskositeetti on tasainen 40°C asti, jonka jälkeen viskositeetti nousee ilmeisesti värin kuivumisen seurauksena. Tällä ei ole käytännön merkitystä, sillä näin suuria lämpötiloja ei esiinny painatusolosuhteissa. SunChemicalsien vesipohjaisen värin viskositeetti nousee loivasti, mutta lämpötila-alueen keskivaiheilla on tasainen alue. Sericolin, Wiederholdin ja Maguaglossin värien viskositeetit laskivat lämpötilan noustessa, samoin laskivat vertailuliuotinvärien viskositeetit. Lämpöliikkeen lisääntyminen on siis niissä selvästi voimakkaampaa kuin värin kovettuminen. Tämä saattaa enteillä vaikeuksia värin kuivauksen kanssa. Muiden värien viskositeetit olivat melko vakioita lämpötilan funktiona. Libraglossin väriä ei pystytty mittaamaan lämpötilan funktiona, sillä reometrin geometria ei lähtenyt pyörimään 504 s<sup>-1</sup>:n nopeudella, mikä johtui ilmeisesti värin suuresta viskoottisuudesta.



Kuva 19. Värien viskoottinen käyttäytyminen lämpötilan funktiona.

### 7.1.2 Tiksotropia

Värien tiksotropisuus määriteltiin nousevan ja laskevan leikkausnopeuden viskositeettien erotuksena leikkausnopeuksilla 80 ja 504 s<sup>-1</sup>. Leikkausnopeus 80 s<sup>-1</sup> valittiin siksi, että kyseisellä leikkausnopeudella havaittiin tiksotropian olevan yleensä suurimmillaan. Lisäksi vertailukohdaksi haluttiin toinen suurempi leikkausnopeus. Värien tiksotrooppisuudet näissä leikkausnopeuksissa on esitetty taulukossa 10. Painovärien suuri tiksotropisuus saattaa aiheuttaa vaikeuksia värinsiirtotapahtumassa. Kokeissa ilmeni myös itseisarvoltaan negatiivista tiksotropisuutta, jota kutsutaan reopektisyydeksi [23]. Tämä johtui luultavasti siitä, että mittauksen kestäessä kokonaisuudessaan hieman yli seitsemän minuuttia, oli osa värin liuottimesta ehtinyt haihtua ja se nosti värin viskositeettia laskevalla leikkausnopeuden alueella. Toisin sanoen viskositeetin nousu ei nähtävästi johtunut värin sisäisten partikkelien suuntautumisesta, vaan liuottimen haihtumisesta, eli kyse ei ollut teorian mukaisesta reopektisyydestä. Kahdelle värille tiksotropia oli negatiivinen, ts. laskevan leikkausnopeuden viskositeetti oli nousevaa suurempi.

Taulukko 10. Painovärien tiksotropia lämpötilassa 25°C.

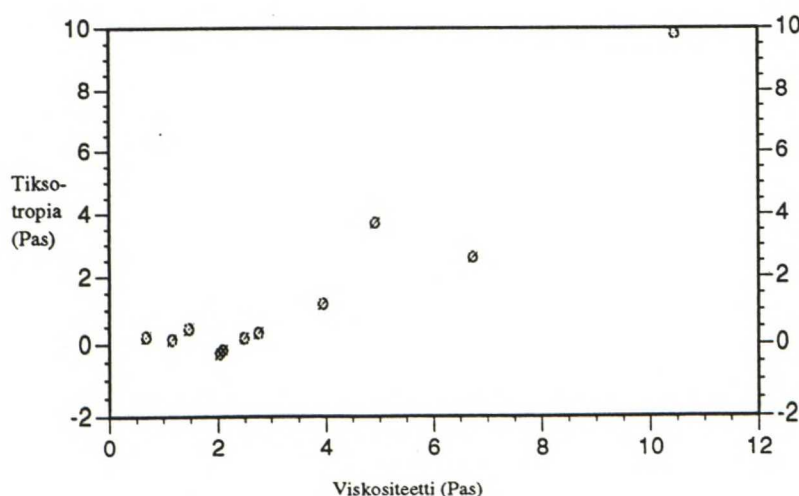
Väri	Leikkausnopeus 80 s <sup>-1</sup>		Leikkausnopeus 504 s <sup>-1</sup>	
	Tiksotropia Pas	% viskositeetista	Tiksotropia Pas	% viskositeetista
SunChemical	-0,17	-8,0	-0,06	-8,9
Sericol	0,46	31,2	0,13	20,5
Seriväri	0,33	12,0	0,05	7,0
Seriväri vinyl	0,20	7,8	0,01	1,7



Maguagloss	2,64	39,2	0,64	34,0
Libragloss	9,82	93,8	4,45	87,0
Pröll	0,15	13,3	0,02	2,9
Wiederhold WFP	-0,24	-14,4	-0,02	-1,6
Wiederhold WFK	0,23	33,0	0,04	5,3
SunChemical 570	1,20	30,3	0,81	28,0
SunChemical 590	3,73	75,9	1,96	68,1

Kaikkien värien tiksotropia pieneni leikkausnopeuden kasvaessa, kuten teorian perusteella oli odotettavissakin. Viskositeettitasoon suhteutettuna pienin tiksotropia  $80 \text{ s}^{-1}$  leikkausnopeudella oli SunChemicalsilla ja Seriväri vinylillä. Hieman näitä suurempi tiksotropia oli Seriväriin paperivärillä, Pröllillä ja Wiederhold WFP:llä. Tiksotropiatasoltaan tulosten keskivaiheilla asettuivat Sericol, Maguagloss, Wiederhold WFK ja SunChemicals liuotinpohjainen paperiväri. Näiden tiksotropia oli kuitenkin jo yli 30% kunkin värien viskositeetista. Poikkeuksellisen suuri tiksotropia mitattiin Libraglossille ja SunChemicals 590 värille. Kummankin osalta suuri tiksotropia johtui siitä, että viskositeetti ei lähtenyt nousuun heti leikkausnopeuden käännettyä laskuun. Värit siis vaativat jonkin verran ”palautumisaikaa” ennenkuin niiden viskositeetti palaa lähtötasolle. Merkillepantavaa on, että viiden tiksotropisimman värien joukossa on peräti kolme liuotinpohjaista väriä. Vesipohjaisilla väreillä tiksotropia on siis näiden tulosten perusteella pienempää, ja siten niillä on ehkä odotettavissa vähemmän värinsiirtohäiriöitä etenkin pienillä painonopeuksilla.

Verrattaessa värien viskositeettia ja tiksotropiaa, huomataan niiden välillä selvää korrelaatiota. Korkean viskositeetin omaavilla väreillä on myös korkeampi tiksotropia. Viskositeetin ja tiksotropian suhdetta selvittää kuva 20. Kuvassa on vaaka-akselille sijoitettu viskositeetti ja pystyakselille värien tiksotropia. Pisteiden sijoittuminen kuvaan osoittaa selvää korrelaatiota ominaisuuksien kesken. Viskositeetin kasvaessa myös tiksotropia kasvaa.



Kuva 20. Viskositeetin ja tiksotropian keskenäinen korrelaatio.

7.1.3 Juoksuraja ja pituus

Värien juoksuraja määritettiin virtauskäyrämittauksesta nousevan leikkausjännityskuvaajan pisteessä  $504\text{ s}^{-1}$ . Pisteeseen muodostettiin tangentti, jonka leikkauspiste pystyakselilla (leikkausjännitysakselilla) osoitti värin juoksurajan. Jos painovärin juoksuraja on liian korkea, saattaa värinsiirtotapahtumassa esiintyä häiriöitä raakelivedon alkuvaiheessa. Juoksuraja kuvaa sitä voimaa, joka tarvitaan, jotta väriin aikaansaadaan virtausta. Taulukossa 11 on esitetty värien juoksurajat lämpötilassa  $25^{\circ}\text{C}$ .

Painovärin tahmeus kuvaa värin halkeamisvastusta ja on seripainoväreille ei-toivottava ominaisuus. Tahmeutta voidaan mitata taso- tai tela-geometrioissa tai sitä voidaan laskennallisesti ennustaa mm. juoksurajan avulla. On todettu, että mitä pienempi on juoksurajan ja viskositeetin suhde, sitä pienempi on värin tahmeus. Tätä tunnuslukua kutsutaan värin pituudeksi. Toisin sanoen alhainen värin pituus on toivottava seripainovärin ominaisuus. Myös värien pituudet on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Painovärien juoksurajat lämpötilassa  $25^{\circ}\text{C}$  leikkausnopeudella  $504\text{ s}^{-1}$ .

Väri	Juoksuraja, Pa	Pituus, $\text{s}^{-1}$
SunChemical	210	309
Sericol	162	250
Seriväri	114	399
Seriväri vinyl	228	425
Maguagloss	847	448
Libragloss	2030	397
Pröll	155	284
Wiederhold WFP	180	131
Wiederhold WFK	77	135
SunChemical 570	457	159
SunChemical 590	556	194

Värin pituuden osalta liuotinvärit osoittautuivat paremmiksi eli lyhyemmiksi. Värien pituudet vaihtelivat välillä  $131\text{ s}^{-1}$  ja  $448\text{ s}^{-1}$ . Vesipohjaisten värien selvästi suuremmasta pituudesta johtuen ne saattavat antaa vastaavia liuotinvärejä epäterävemmän painojäljen.

7.1.4 Viskoelastiset ominaisuudet

Värien viskoelastiset mittaukset suoritettiin värähtelymittauksina vakio­lämpötilassa sekä nousevalla että laskevalla värähtelytaajuudella. Taajuuksia käytettiin yhteensä 23 kappaletta, suurin  $0,1\text{ Hz}$  ja pienin  $20,0\text{ Hz}$ . Värähtelyliike oli sinimuotoista. Mittausmenetelmäksi valittiin värähtelymittaus, koska myös tuotannossa esiintyy sinimuotoista värähtelyä, jolle väri joutuu



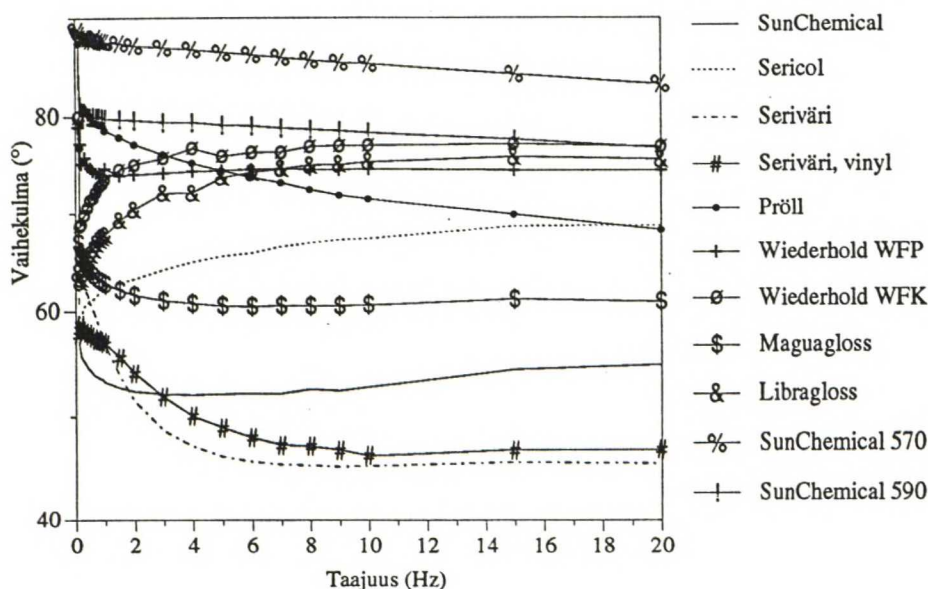
alttiiksi. Sylinterikoneissa painokaavio ja tasokoneissa painoraakeli liikkuu sinimuotoisen aaltoliikkeen tahdissa, jonka taajuus on melko pieni. Koska värien viskoottisten ominaisuuksien ei havaittu juurikaan muuttuvan lämpötilan funktiona, mitattiin viskoelastiset ominaisuudet vakiolämpötilassa 25°C. Tulokset on esitetty taulukossa 12.

Viskoelastisuudeltaan värit jakaantuivat kahteen ryhmään. Liuotinvärit ja osa vesipohjaisista olivat selvästi viskoottisia luonteeltaan, kun muutamat vesipohjaiset värit olivat sitävastoin hyvin elastisia. Serivärin valmistaja ilmoittaa värien olevan hyytelövärejä, mikä näkyy selvästi värien elastisena luonteenä. Myös Maguagloss ja SunChemicals AQ olivat hyvin elastisluonteisia. Hyytelövärien etuna on pidetty pienempiä pisteprosenttien muutoksia, koska väri ei viskoottisen värin tavoin imeydy painoalustaan, jossa kuidut levittävät väriä. Tätä taustaa vasten tarkasteltuna ei pisteprosenttien muutoksissa ollut merkittäviä eroja suoritetuissa tuotantopainatuksissa.

Taulukko 12. Värien vaihekulmat taajuuden funktiona.

Väri	Vaihekulma °							
	0,1 Hz	0,5 Hz	1,0 Hz	2,0 Hz	5,0 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz
SunChem	57,10	54,29	53,19	52,32	52,06	52,69	54,36	54,82
Sericol	59,41	61,16	62,17	63,21	65,54	67,37	68,74	68,81
Seriväri	60,79	60,70	56,70	51,40	46,27	45,40	45,70	45,60
Seriväri vin.	57,72	57,60	56,85	54,00	48,88	46,33	46,82	46,87
Maguagloss	66,93	64,00	62,73	61,60	60,57	60,70	61,27	61,03
Libragloss	63,80	65,70	67,67	70,43	73,90	75,57	76,07	75,80
Pröll	87,30	80,09	78,67	77,27	74,61	71,61	69,96	68,31
Wieder WFP	79,00	74,87	74,80	74,20	74,63	74,80	74,67	74,67
Wieder WFK	79,93	71,37	73,63	75,20	76,10	77,23	77,37	77,10

Kuvassa 21 on esitetty värien vaihekulmat taajuuden funktiona. Vaihekulmat on laskettu kaavan 2 mukaisesti. SunChemicals AQ liuotinvärit 570 ja 590 olivat luonteeltaan lähimpänä viskoottisia. Näitä hieman elastisempia olivat Libragloss ja Wiederhold WFK ja WFP. Keskivaiheille sijoittuvat Pröll, Sericol ja Maguagloss. Perinteisistä väreistä elastisin oli SunChemical, jonka vaihekulma oli alhaisimmillaan noin 52°. Serivärin AQ6000 vinyl ja AQ6000 olivat hyytelötyyppisinä väreinä odotetusti elastisimpia. Elastisimmaksi väriksi osoittautui Serivärin AQ6000, jonka vaihekulma yli 5 Hz:in taajuuksilla laski noin 45°:een. Selvästi elastisia ominaisuuksia voidaan sanoa olevan molemmilla Serivärin väreillä, SunChemicalsilla ja Maguaglossilla. Miltei kaikilla väreillä vaihekulman arvot vaihtelivat alle 10 Hz:in taajuuksilla, mutta muuttuivat melko vakioiksi tätä suuremmilla taajuuksilla.



Kuva 21. Värien vaihekulmat taajuuden funktiona.

## 7.2 Kuivumisominaisuudet

Värien kuivumisominaisuuksia tutkittiin laboratoriomittakaavassa painamalla täyspeitteisiä värinäytteitä käsipöydällä ja kuivaamalla niitä TKK:n graafisen tekniikan laboratorion Fogra Hot uunikuivaimella. Kuivausuunissa on kolme kuumailmasuutinta, jotka puhaltavat ilmaa 20 cm pituiselle alueelle. Uunin suuttimien virtausnopeutta ja kuivausilman lämpötilaa voidaan säätää samoin kuin uunin alla kulkevan radan nopeutta.

Kokeissa ei sen sijaan voitu säätää tai mitata painoalustalle siirtynyttä värimäärää, mistä syystä värimäärään vaikuttavat muuttujat vakioitiin ja oletettiin värimäärän pysyvän vakiona. Pahvialustalle siirtynyttä värimäärää pyrittiin esikokeissa punnitsemaan, mutta menetelmä ei mittatarkkuuden vuoksi soveltunut käytettäväksi. Seulakankaana käytettiin 140 kudoksen kangasta ja painokuva valotettiin vakioajalla (70 sek.) 1/2-suoramenetelmällä kalvotettuun kaavioon. Emulsiona käytettiin Dirasolin 914 diatsopolymeeriemulsiota. Raakelin veto, kulma ja paine sekä kaavion korotus vakioitiin mahdollisimman tarkasti samaksi kaikissa painatuksissa.

Kokeiden ensimmäisessä osassa kaikki värit kuivattiin 40°C, 55°C ja 75°C lämpötiloissa ja painoalustana oli mainospahvi. Lämpötilat valittiin suoritettujen esikokeiden tulosten perusteella. Ratanopeutena käytettiin 0,04 m/s ja värinäyte viipyi tällä nopeudella uunin alueella 6 sekuntia. Kuivauksen jälkeen näytteistä suoritettiin rub-off- eli hankauskestotesti TKK:n graafisen tekniikan laboratoriossa kehitetyllä laitteella. Laitteessa valkoinen paperiliuska vedetään värinäytteen kanssa kontaktiin pitkittäisellä vedolla painon alla. Paperina käytettiin 80 g/m<sup>2</sup> puuvapaata paperia. Hankaukset suoritettiin noin 60 sekunnin kuluttua siitä, kun väri oli



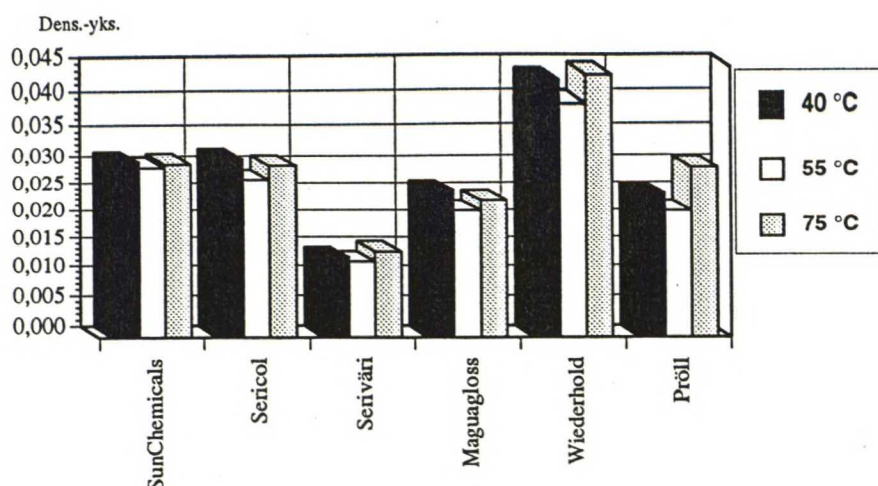
painettu. Tällä testillä pyrittiin selvittämään värin tahrimisvaikutusta päällimmäisiin arkkeihin painokoneen pinoajassa.

Vuorokauden kuluttua painatuksesta suoritettiin toinen hankauskestotesti Andersson & Sørensenin värinhankauslaitteella. Testissä painopintaa hangattiin pyörivin liikkein valkoisella puuvillakankaalla 10 sekunnin ajan. Kangas oli ennen testiä kostutettu vesijohtovedellä. Tällä testillä haluttiin tutkia värin hankaus- ja kosteudenkestoa siinä vaiheessa, kun valmis painotyö on jo asiakkaan tai jälkikäsittelijän käsissä. Esikokeissa suoritettiin vastaava testi vuorokauden kuluttua painamisesta mutta ilman kostutusta. Tällöin väripinnoista ei kuitenkaan minuutinkaan hankauksen jälkeen saatu irtoamaan densiteettimittaukseen riittävää jälkeä. Sekä TKK:n että Andersson & Sørensenin testeissä mitattiin densitometrillä mallipinnalle siirtynyt värimäärä. Densitometri nollattiin TKK:n testissä käytettyyn paperiin ja Andersson & Sørensenin testissä käytettyyn puuvillakankaaseen. Taulukossa 13 on esitetty hankausjäljistä mitatut densiteettiarvot TKK:n testissä. Arvot on esitetty neljän desimaalin tarkkuudella siitä syystä, että eri muuttujien väliset erot olivat hyvin pieniä. Sericolin värillä ei painettu muovialustalle, koska valmistaja ei suositellut sitä. Seriväri vinylin densiteettiarvoa muovialustalle ei pystytty mittaamaan, koska riittämättömän kuivauksen takia koko väripinta kuoriutui muovilta rullalle. Wiederholdin kohdalla on esitetty muovi 60 sec.-sarakkeessa arvot Wiederhold WFK:lle, muut arvot ovat Wiederhold WFP:lle.

Taulukko 13. TKK:n hankaustestissä siirtyneiden väripintojen densiteettiarvot.

<u>Väri</u>	<u>40 °C</u>	<u>55 °C</u>			<u>75 °C</u>
	Pahvi, 60 sec	Pahvi, 60 sec	Pahvi, 30 sec	Muovi, 60 sec	Pahvi, 60 sec
SunChemical	0,0308	0,0298	0,0211	0,0371	0,0304
Sericol	0,0313	0,0275	0,0341	—	0,0301
Seriväri / vin.	0,0133	0,0125	0,0325	—	0,0143
Maguagloss	0,0255	0,0218	0,0249	0,0457	0,0236
Pröll	0,0249	0,0216	0,0294	0,0233	0,0298
WFK / WFP	0,0431	0,0398	0,0339	0,0250	0,0439

Kuvassa 22 on esitetty TKK:n kuivahankaustestin tulokset väreille eri lämpötiloissa. Käytetyt lämpötilat valittiin suoritettujen esitestien tulosten perusteella ottaen huomioon myös valmistajien suositukset. Pylväiden korkeus kuvaa valkoiselle vastapaperille siirtyneen värijäljen densiteettiä. Mitä matalampi pylväs on, sitä paremmin väri on kuivunut ja sitä vähemmän kuivattu väripinta on tahrinut valkoista vastapaperia. Parhaita värejä kuivahankauskestoltaan 60 sekunnin kuivausajalla olivat Seriväri, Maguagloss ja Pröll. Hieman heikompia olivat Sericol, SunChemical ja Wiederhold. Värien erot olivat kuitenkin vain noin 0,02 densiteettiyksikköä, eli ne kuivuivat hyvin samankaltaisesti.



Kuva 22. TKK:n kuivahankaustestissä vastapaperille siirtyneiden väripintojen densiteettiärvot.

Kuvasta voidaan selvästi todeta kaikilla väreillä 55°C kuivauslämpötilan olevan testissä käytetyistä lämpötiloista paras. Wiederholdin värillä hankauskestävyys oli huonoin. Vaikka muiden värien kesken kuivaustuloksessa oli eroja, oli parhaimman ja huonoimman värien välinen ero vain alle 0,02 densiteettiyksikköä, jos Wiederholdin väriä ei huomioida. Erot olivat siis pieniä. Parhaan kuivaustuloksen antoi Seriväri. Pröll ja Maguagloss olivat keskitasolla ja heikoimmin kuivuivat Wiederholdin lisäksi SunChemical ja Sericol. Valmistajien suositukset kuivauslämpötiloiksi olivat seuraavat: SunChemical 40°C, Sericol 40-50°C, Seriväri 40-50°C, Maguagloss 40°C, Wiederhold 40-70°C ja Pröll 50-60°C.

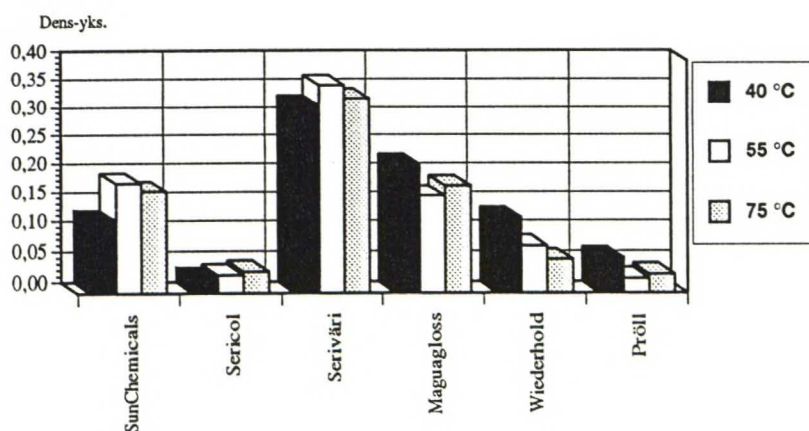
Taulukko 14. Andersson & Sørensenin hankaustestissä vastapaperille siirtyneiden väripintojen densiteettiärvot.

Väri	40°C	55°C		75°C
	Pahvi	Pahvi	Muovi	Pahvi
SunChemical	0,12	0,18	0,24	0,17
Sericol	0,02	0,03	—	0,04
Seriväri / vinyl	0,32	0,36	0,37	0,33
Maguagloss	0,22	0,16	0,17	0,18
Pröll	0,06	0,02	0,09	0,03
WFK / WFP	0,12	0,08	0	0,05

Vuorokauden kuluttua painatuksesta suoritettujen A&S-kosteushankaustestien tulokset on esitetty taulukossa 14. Painoalustana oli mainospahvi. Koska eri hankaustestit ovat suoritustavaltaan täysin erilaiset, eivät testien tulokset ole vertailukelpoisia keskenään. Molemmat testit mittaavat värin hankauskestoa, mutta eri kuivumisajan puitteissa sekä toinen kosteissa ja toinen kuivissa olosuhteissa. Testin tulokset on esitetty kuvassa 23. Värien keskenäiset erot muodostuivat suuremmiksi kuin TKK:n testissä. TKK:n testissä parhaaksi osoittautunut Seriväri oli kosteudenkestoltaan huonoin. Testissä toiseksi huonoimmin menestyi

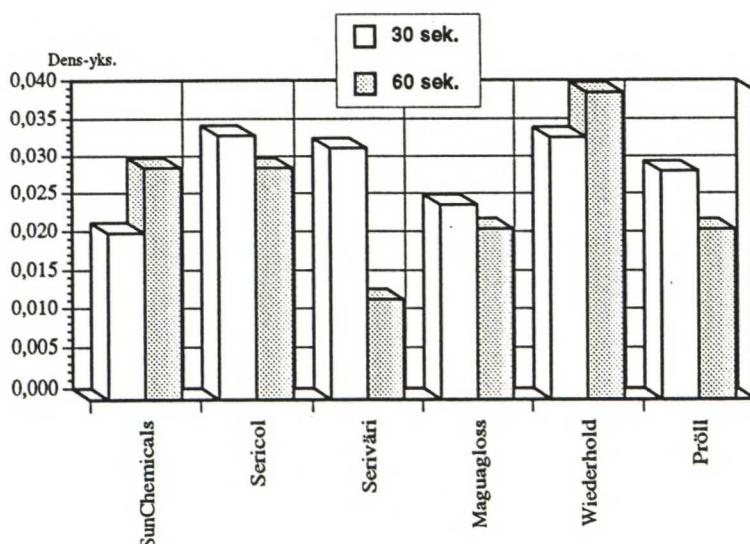


Sericolin väri mutta se oli kuitenkin A&S:n testissä toiseksi paras. Vaikka värillä on hyvä hankauskesto kuivana, se ei siis välttämättä tarkoita sitä, että värin kosteushankauskesto olisi hyvä. Myöskään parasta kuivauslämpötilaa ei väreille voida yleisesti nimetä, vaan optimilämpötila oli värikohtainen. Lämpötila 40°C tuotti parhaan kuivaustuloksen SunChemicals, Sericolin ja Serivärin väreillä. Maguaglossilla ja Pröllillä paras kuivaustulos mitattiin sen sijaan 55°C lämpötilalla. Wiederholdin värillä 75°C lämpötila antoi parhaan tuloksen. Paras kosteushankauskesto mitattiin Pröllin värillä ja miltei yhtä hyvä oli Sericolin väri. SunChemicals, Maguaglossin ja Wiederholdin kosteudenkesto oli kohtuullinen, mutta Serivärin huono. Testissä Serivärin väri irtosi täysin alustastaan ja hankauksen jälkeen mainospahvin pinta oli näkyvissä lähes koko hankauksen alueelta. Tätä ei tapahtunut muilla väreillä, vaan niillä väripinta peitti pahvin vielä testin lopussa.



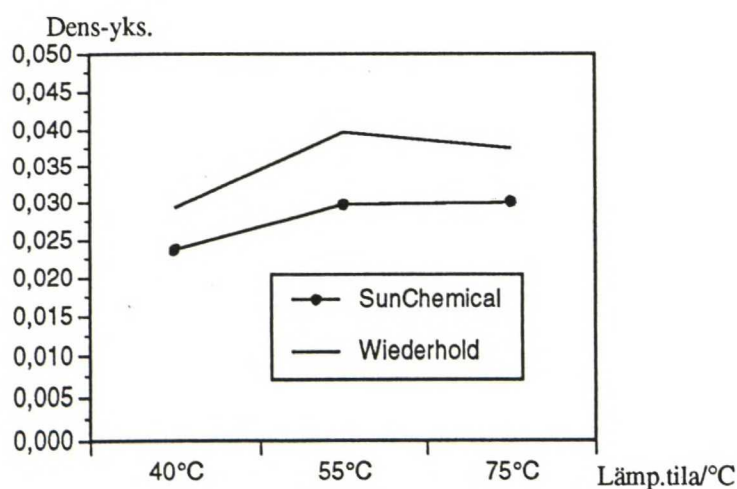
Kuva 23. A&S-hankaustestissä siirtyneiden väripintojen densiteetti-arvot.

Koska kokeen ensimmäisessä osassa havaittiin käytetyn kuivauslämpötilan vaikuttavan vain melko vähän värin hankauskesto, jatkettiin kokeita muuttamalla kuivausaikaa. Vaikka 0,04 m/s ratanopeus ja 6 s uuniaika vastasi melko hyvin värin viipymisaikaa tuotantopainokoneen uuniosassa, oli 60 s kokonaisaika ennen hankaustestiä selvästi suurempi kuin tuotannossa, jossa arkki saa pinoajassa toisen arkin päälleen viimeistään 30 s kuluttua painatuksesta. Värit kuivattiin nyt ratanopeudella 0,10 m/s, jolla nopeudella hankauskestotesti voitiin suorittaa 30 s kuluttua painamisesta. Värit kuivattiin nyt vain lämpötilalla 55°C, joka todettiin parhaaksi kuivauskokeiden ensimmäisessä osassa. Kuvassa 24 on esitetty pienentyneen kuivausajan vaikutukset hankauskesto. Muilla, paitsi SunChemicals ja Wiederholdin väreillä, kuivausajan lyhentäminen heikensi selvästi värin hankauskesto. SunChemicals ja Wiederholdin väreillä havaittiin ilmiö, jossa pidentynyt kuivausaika heikensi hankauskesto. Tuloksen yllättävyydestä johtuen väriä testattiin useilla uusilla rinnakkaismäärittelyksillä kuivausaikaa vaihdellen, mutta kaikki mittaukset tukivat saatuja tuloksia. SunChemicals ja Wiederholdin väreillä ”ylikuivuminen” heikentää hankauskesto. Serivärin hankauskesto heikkeni väreistä suhteellisesti eniten. Muilla väreillä muutokset olivat pienempiä.



Kuva 24. Kuivausajan vaikutus värien hankauskeston TKK:n testissä.

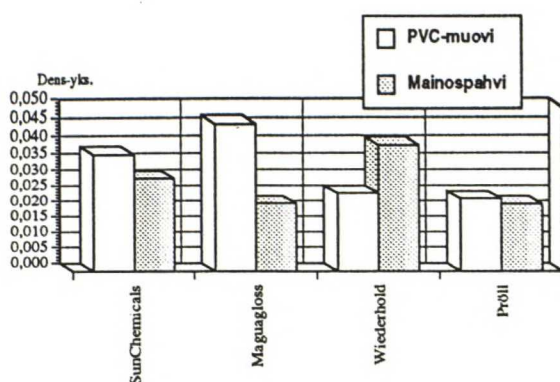
Johtuen edellisessä kappaleessa mainitusta hankauskeston huononemisesta kuivausajan pidentyessä SunChemicals ja Wiederholdin väreillä, nämä värit otettiin lisätarkasteluun 60 sekunnin kuivausajalla. Painettua väripintaa kuivattiin 55°C lämpötilan lisäksi myös 40°C ja 75°C lämpötiloilla kuivausajalla 60 sekuntia. Näin SunChemicals ja Wiederholdin väreille haluttiin löytää tälle kuivausajalle parhaan kuivaustuloksen tuottava lämpötila. Testin tulos nähdään kuvassa 25. SunChemicals väriellä 55°C ja 75°C kuivaustulos oli lähes sama, mutta 40°C lämpötila antoi parhaimman kuivaustuloksen. Wiederholdilla 55°C lämpötila oli kuivaustulokseltaan huonoin. 75°C lämpötilalla saavutettiin hieman parempi ja 40°C lämpötilalla paras kuivaustulos. Nämä tulokset tukevat aiemmin esitettyä olettamusta, jonka mukaan huono kuivaustulos johtuisi "ylikuivumisesta".



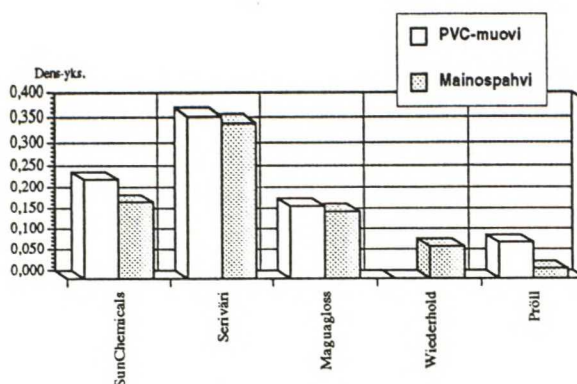
Kuva 25. SunChemicals ja Wiederholdin värien kuivumistulokset 30 sekunnin kuivausajalla.



Koska kokeiden tavoitteena oli selvittää värien käyttäytymistä myös muovialustoilla, painettiin värit myös PVC-muoville ja näytteistä mitattiin kuiva- ja kosteahankauskestot. Sericolin väriä ei painettu PVC-muoville, sillä valmistaja ja maahantuoja ei suosittele väriä muovipinnalle huonon kiinnittymisen vuoksi. Painatukset suoritettiin mainospahveille parhaiksi todetuilla muuttujilla, eli 55°C lämpötilalla ja 60 sekunnin kuivausajalla. 60 sekunnin kuivausaika valittiin siksi, että kaikilla muilla paitsi SunChemicals ja Wiederholdin väreillä aika osoittautui parhaimmaksi. Kuvassa 26 ja 27 nähdään hankaustestien tulokset muovialustalle. Vertailukohdiksi kuviin on sijoitettu vastaavat arvot mainospahville.



Kuva 26. TKK:n testissä siirtyneiden väripintojen densiteetti-arvot muovipinnalle.



Kuva 27. A&S:n testissä siirtyneiden väripintojen densiteetti-arvot muovipinnalle.

Kuivahankaustestissä Seriväriin muoviväri kuoriutui hankauskohdaltaan vastapaperille rullalle ja densiteetti-arvojen mittaaminen oli mahdotonta. Kuitenkin kokeesta ilmeni selvästi, että kyseisillä kuivausmuuttujilla Seriväriin muoviväri ei kuiva riittävästi. Pidempi kuivausaika olisi todennäköisesti parantanut hankaustestien tulosta, mutta tuotannossa näin pitkien kuivausaikojen käyttö on taloudellisesti mahdotonta. Pröllin värillä saavutettiin muoville lähes yhtä hyvä kuivaustulos kuin mainospahvillekin. SunChemicals värin hankauskesto muovialustalla oli jonkin verran heikompi kuin pahvialustalla. Maguaglossilla tämä ero oli selvempi. Kuitenkin näillä väreillä kuivahankauskesto oli niin hyvä, että tuotantopainaminen on mahdollista. Wiederholdin värillä mitattiin muovialustalta pienempi värinsiirtymä kuin pahvialustalta. Wiederholdin väri siis tarttui tiukemmin muovialustaan. On kuitenkin huomattava, että Wiederholdin muoviväri on koostumukseltaan erilainen kuin vastaava paperiväri ja sisältää todennäköisesti enemmän liuottimia. A&S-kosteushankaustesti tehtiin mainospahveista poiketen muoveilla vasta kahden päivän kuluttua painatuksesta. Aika valittiin siksi, että esikokeet osoittivat yhden päivän kuivausajan ennen hankaustestiä riittämättömäksi. Tämä selittää osaltaan melko pienet erot muovin ja pahvin välillä A&S-kosteushankaustestissä. Vain Maguaglossin värillä hankauskesto oli selvästi huonompi PVC-muoville kuin mainospahville.

### 7.3 Optiset ominaisuudet

Värien optisista ominaisuuksista mitattiin värillisyyttä ja kiiltoa. Värillisyyys mitattiin TKK:n Minoltan CM-1000 R spektrofotometrillä ja kiilto Macbethin Lab Gloss-kiilto mittarilla 45° peiliheijastuskulmassa. Värillisyyksmittauksissa vertailukohtana käytettiin SunChemicals in liuotinväriin magentan sävyä. Näin tehtiin siksi, että nykyinen seripainoprosessi on kalibroitu toimimaan sävyntoiston kannalta nykyisille liuotinväreille. Värillisyyssarvojen muutokset vertailuväriin kuvaavat lopullisen painotuotteen värillisyyksvaikutelman muutosta. Vesipohjaisten värien värikoordinaatit mitattiin ja todettiin poikkeamat vertailupisteeseen. Tulokset on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Painovärien L\*C\*H\*-värillisyykskoordinaatit.

<u>Väri</u>	<b>L*</b>	<b>C*</b>	<b>H*</b>
SunChemical AQ	31,46	54,08	22,54
Sericol	36,35	52,69	22,18
Seriväri	40,07	63,21	28,10
Seriväri vinyl	42,82	73,80	28,70
Maguagloss	32,78	51,74	19,35
Libragloss	30,62	54,64	22,16
Wiederhold WFP	29,35	73,11	28,75
Wiederhold WFK	21,55	62,64	19,10
Pröll	43,11	89,62	37,65
<b>SunChemical 570</b>	<b>32,52</b>	<b>68,52</b>	<b>34,33</b>

Pröllin värin muista selvästi poikkeavat värillisyyssarvot johtuvat siitä, että kyseessä ei ollut magenta sävy vaan brillant red. Pröllin väristä ei ole saatavissa nelivärisarjan sävyjä. Sericolin ja Wiederhold WFK:n magenta-sävyt olivat Din-sarjasta toisin kuin muiden värien Eurooppa-sarjasta. Tämä johtui värien huonosta saatavuudesta.

Koska värillisyykskoordinaatit mitattiin ohentamattomista väreistä, muuttuu värin vaaleutta ilmaiseva luminanssi-koordinaatin (L\*) arvo ohennuksen myötä. Aleneminen tapahtuu kuitenkin kaikilla väreillä, joten arvot ovat vertailukelpoisia. Seriväriin ja Sericolin värit olivat luminanssiarvoltaan suurimmat. Muiden prosessivärien luminanssiarvot olivat noin 30-32 välillä. Alhaisin luminanssi 21,55 oli Wiederholdin WFK:lla. Värin kylläisyyttä ilmaiseva C\*-koordinaatti oli lähinnä liuotinvärejä Serivärillä sekä Wiederhold väreillä. Muiden värien C\*-koordinaatit olivat noin 52-54 välillä, joka poikkeaa yli 10 yksikköä liuotinväriin koordinaatista. Samansuuntaisesti asettuivat myös värien sävyä osoittavat H\*-koordinaatit (engl. hue).



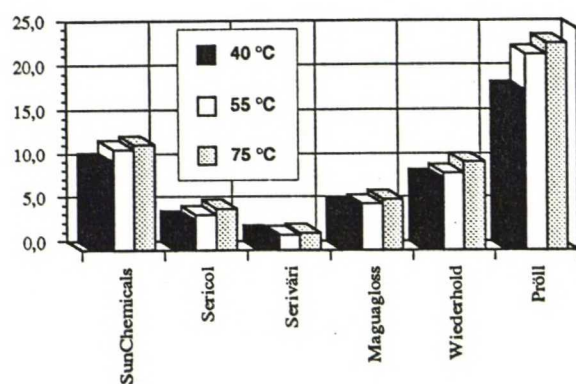
Lähimpinä vertailuväriä olivat Serivärin sekä Wiederhold WFP:n arvot, joissa poikkeamaa oli noin kuusi yksikköä. Muiden värien kohdalla poikkeama H\*-koordinaatissa vertailuvärin suhteen oli alueella 12-15 yksikköä.

Kiiltomittauksissa mitattiin painoalustalle painetun testipinnan kiiltoarvot eri väreillä ja eri kuivatusmuuttujilla. Kiiltomittaukset suoritettiin noin yhden vuorokauden kuluttua painatustapahtumasta ja tämä aika vakioitiin eri väreille. Kyseinen aika valittiin, koska haluttiin tietää väripinnan kiiltoarvo sillä hetkellä, kun asiakas saa tilaamansa työn nähtäväksi. Tämän ajan arveltiin olevan keskimäärin noin yksi vuorokausi. Kiiltomittaukset suoritettiin 45° mittausingeometrialla ja tulokset saatiin kiiltoarvoina, joissa lukuarvo 100 vastaa mustan referenssilasipinnan kiiltoarvoa. Kiiltomittaukset on esitetty taulukossa 16. Painamattoman mainospahvin kiiltoarvoksi mitattiin 9,9 ja PVC-muovin 84,9.

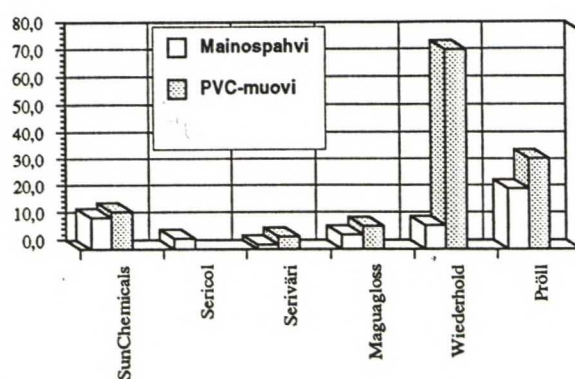
Taulukko 16. Painovärien kiilto kuitualustalla 40, 55 ja 75°C ja muovialustalla 55°C lämpötilassa.

<u>VÄRI</u>	<u>40°C</u>	<u>55°C</u>		<u>75°C</u>
	Kuitualusta	Kuitualusta	Muovialusta	Kuitualusta
SunChemical	10,1	11,6	13,7	12,1
Sericol	3,4	3,9	–	4,7
Seriväri	1,7	1,7	4,5	2,0
Maguagloss	4,9	5,2	8,3	5,7
Wiederhold	8,1	8,7	73,1	10,0
Pröll	18,1	22,1	33,6	23,4

Kiiltomittausten tulokset on esitetty kuvassa 28. Kuvasta nähdään, että kaikkien värien kiiltolukemat nousivat kuivauslämpötilan noustessa. Tämä johtui todennäköisesti sideaineen paremmasta filminmuodostuksesta korkeammassa lämpötilassa. Värien kiiltoarvoissa oli huomattavan paljon eroja. Serivärin värillä oli alhaisin kiiltotaso ja vain hieman kiiltävämpi oli Sericolin väri. Molempia värejä voidaan pitää täysin mattoina. Maguaglossin ja SunChemicals värien kiilto oli joukon keskivaiheilta ja paras kiilto oli Pröllin ja Wiederholdin väreillä. On huomattava, että Pröllin väri ei ollut muista poiketen magenta, vaan punainen lisäväri. Värin muista poikkeava pigmentti saattoi aiheuttaa korkeahkon kiiltotason. Pröllin värin pinta jäi kuivauksen jälkeen hieman epätasaiseksi, ns. ”appelsiinipinnaksi”. Pinnan epätasaisuus oli kuitenkin makromittakaavaista, eikä se siten todennäköisesti laskenut kiiltolukemia. On myös huomattava, ettei testeissä lisätty väreihin mitään apuaineita.



Kuva 28. Värien kiilto eri kuivauslämpötiloissa mainospahvilla.



Kuva 29. Värien kiilto mainospahvilla ja PVC-muovilla.

Kuvassa 29 on esitetty PVC-muoville painetun väripinnan kiiltoarvo ja vertailukohdaksi kuvaan on otettu kiilto mainospahvilla. Kaikilla väreillä kiiltotaso muodostui PVC-muovilla korkeammaksi kuin pahvilla. Sericolin värin kohdalta puuttuu PVC-muovin kiiltoarvo, koska värillä ei painettu muoville. Kuvasta nähdään selvästi Wiederholdin muovivärillä saavutettu hyvin korkea kiiltotaso. Myös Prällin värillä muoville saavutettiin selvästi korkeampi kiilto, muilla väreillä ero ei ollut yhtä selvä.

#### 7.4 Koostumukselliset ominaisuudet

Värien rakeenteellisen koostumuksen selville saamiseksi värejä tutkittiin Teknillisen Korkeakoulun graafisen laboratorion Perkin-Elmer 1020 termogravimetrillä. Termogravimetriin eli termovaakaan sijoitetaan pieni määrä väriä (noin 1-20 µg) mittakuppiin, joka ohjataan laitteen uunin sisään. Uuni kuumentaa kupissa olevaa värinäytettä ja vaaka seuraa värin ainesosien haihtumista painohäviön avulla. Termovaaka ilmoittaa analyysin tuloksen painonalenemisena ja painonalenemisen derivaattana. Painohäviöikäyrästä voidaan päätellä eri lämpötilassa haihtuvien värin komponenttien prosentuaalisia osuuksia. Painohäviöikäyrän derivaatoista saadaan vastaavasti selville värien komponenttien suurinta haihtumisnopeutta vastaava lämpötila. Mittauksista muodostetut painohäviöikäyrät on esitetty liitessä 2.

Termogravimetrysten mittausten tavoitteena oli selvittää missä määrin värit sisältävät orgaanisia haihtuvia liuottimia ja missä määrin vettä. Määrityksiä vaikeutti se, että herkästi haihtuvien liuottimien ja veden haihtumisalueet osuivat suuresti päällekkäin. Vesi haihtui kokonaisuudessaan alle 70°C:een ja muut voimakkaat orgaaniset liuottimet pääasiassa alle 100°C:een. Tuloksia tulkittaessa jouduttiin tukeutumaan valmistajien antamiin ilmoituksiin värien ja liuotinaineiden koostumuksesta. Termovaaka-analyyseistä saatiin kuitenkin hyödyllistä perustietoa seripainovärien eri komponenttien keskinäisistä suhteista ja erityisesti siitä, kuinka paljon väri prosentuaalisesti sisältää liuottimia. Taulukossa 17 on esitetty värien prosentuaaliset koostumukset jaettuina neljään ryhmään haihtumislämpötilojensa mukaan. Ryhmä 1 koostuu



matalassa lämpötilassa haihtuvista ns. low-boiling liuottimista sekä vedestä ja ryhmä 2 korkeamman lämpötilan haihtumispisteen omaavista liuottimista ja apuaineista. Ryhmän 3 muodostavat sideaineet ja ryhmän 4 pigmentit ja hajoamattomat yhdisteet.

Taulukko 17. Värien sisältämät liuotinaineryhmät haihtumispisteiden mukaan ryhmiteltyinä.

<b><u>Väri</u></b>	<b><u>Ryhmä 1</u></b> (0-110°C)	<b><u>Ryhmä 2</u></b> (110-200°C)	<b><u>Ryhmä 3</u></b> (300-450°C)	<b><u>Ryhmä 4</u></b> (yli 450°C)
SunChemical	37%	33%	24%	6%
Sericol	42%	33%	18%	7%
Seriväri	34%	50%	11%	5%
Seriväri vinyl	30%	48%	16%	6%
Maguagloss	47%	31%	17%	5%
Libragloss	19%	41%	34%	28%
Pröll	25%	34%	28%	13%
Wiederh. WFK	37%	32%	26%	5%
Wiederh. WFP	26%	47%	20%	7%
SunChem. 570	22%	42%	37%	8%
SunChem. 590	17%	42%	37%	4%

Ryhmän 1 liuottimien suuri osuus ilmaisee veden suurempaa osuutta liuottimien määrästä. Tällä perusteella SunChemical, Sericol, Maguagloss ja Wiederhold WFK sisältäisivät suhteessa enemmän vettä kuin muut vesipohjaiset värit. Hartsin, jota edustaa ryhmä 3, suurempi osuus on edesauttamassa värin hyvää kiinnittymistä. Tosin on huomattava, että hartsin määrän lisäksi myös hartsityyppi on merkittävä tekijä. Liuotinpohjaiset värit sisältävät suhteessa enemmän hartsia kuin vesipohjaiset. Vesipohjaisista väreistä eniten hartsia sisälsivät Pröll, Wiederhold WFK ja WFP, SunChemical ja Sericol. Pigmentin osuus vaihteli väreissä noin 4-10% välillä. Pröllin ja Libraglossin värien korkeampi ryhmän 4 osuus johtuu hajoamattomista yhdisteistä, jotka esiintyivät painojäämänä vielä 650°C lämpötilassakin.

SunChemical ilmoitti värinsä sisältävän vain 5% orgaanisia liuottimia. Kuitenkin väri sisälsi 110-200°C välillä haihtuvia aineita 33% koostumuksestaan. Alle 110°C haihtuvia liuottimia oli 37% koostumuksesta, mikä kertoo melko suuresta vesipitoisuudesta.

Sericolin väristä tiedettiin, että se sisältää noin 15% haihtuvaa orgaanista liuotinta /41/. Valmistajan ilmoittamat liuotinaineet Sericolin vesipohjaisille Aquacolor prosessi- ja lisäväreille on esitetty taulukossa 18. Termogravimetrijon mukaan Sericolin väri sisältää liuottimia noin 75%. Tämän mukaan loppu liuotinainemäärästä, eli 60%, olisi vettä.

Taulukko 18. Sericol Aquacolor-värisarjan sisältämät liuottimet valmistaja mukaan.

Liuotin	4-värisarja	Lisävärisarja
2-propoksietanoli	5-10%	
n-metyyli-2-pyrroldoni	5-10%	8-10%
2-butoksimetyylietoksyylipropanoli	5-10%	3%
1-metoksipropanoli		3%
metoksimetyylietoksipropanoli		3%

Muiden värien liuotinainepitoisuuksia ei tiedetty, sillä niitä eivät maahantuoja ilmoittaneet. Termovaakamittausten ja värien käyttäytymisen perusteella voitiin päätellä alhaisen liuotinainepitoisuuden väreiksi edellämainittujen lisäksi Seriväri, Maguagloss ja Wiederhold WFK. Näistä Maguaglossin ryhmän 1 liuottimia oli peräti 47%, josta voidaan päätellä värillä olevan melko korkea vesipitoisuus. Värien orgaanisten liuottimien pitoisuus on todennäköisesti kaikissa näissä väreissä alle 15%. Jonkin verran näitä värejä vähemmän vettä sisälsi luultavasti Seriväri vinyl ja vesipitoisuudeltaan pienimmät olivat Pröll ja Wiederhold WFP. Näiden värien orgaaniset liuotinainepitoisuudet olivat todennäköisesti noin 20-25%. Näiden värien yhteydessä tulisikin puhua vesiohenteisuudesta vesipohjaisuuden sijasta.

## 8 KOEPAINATUKSET TUOTANTOPAINOKONEELLA

Laboratoriokokeiden tulosten perusteella tuotantomittakaavaisiin koepainatuksiin valittiin kaksi nelivärisarjaa vesipohjaisia ja yksi nelivärisarja liuotinpohjaisia värejä. Vesipohjaisista väreistä parhaiten tuotantoon soveltuvia arvioitiin olevan SunChemicals ja Sericolin värit. Vertailuvärisarjaksi valittiin SunChemicals liuotinpohjainen 570-sarja. Vesipohjaisia muovipainatusvärejä ei päätetty ottaa tuotantopainatuksiin niiden laboratoriotesteissä ilmenneiden huonojen kiinnittymisominaisuuksien vuoksi. Vesipohjaiset värit muoveille eivät vielä nykymuodossaan täytä laatukriteereitä kiinnittymisen osalta.

Painokoneeksi valittiin Svecian Secta HighSpeed UV-sylinterikone, sillä se mahdollisti riittävän suuren painoarkin ajamisen sekä soveltui muutoksitta miniaaltopahvin ja mainospahvin painamiseen. Raakelikumiksi valittiin 65 shoren kumi, jolla saavutettiin vesipohjaisten värien vaatima puristus. Yleisimpänä raakelikumina Mainos ja Etiketissä käytetään punaista 65 shoren kumia, mutta jotkut värien valmistajat suosittelevat vesipohjaisille väreille vihreää 70 shoren raakelikumia. Yleisesti ottaen 50-70 shoren raakelikumeja pidetään keskikovina (80 sininen=kova). Kuitenkin punaisellakin kumilla saavutettiin kokeissa puristus, joka sai värit kuplimaan. Tästä syystä kovemman raakelikumin käyttöä ei nähty tarpeelliseksi.

Kokeita varten valmistettiin seripainofilmit 24 l/cm linjatiheydellä. Filmit käsittivät nelivärisävykuvan lisäksi kolmeen eri paikkaan arkille asemoidut rasteripinnat 5%, 25%, 50%, 75%, 95% ja 100% kentillä. Arkille asemoitiin myös 15x30 cm kompaktipinta kullekin



prosessiväriille, jolta voitiin mitata kiilto, värillisyyys ja hankauskestävyydet sekä suorittaa nuuttaustestit lakatulla pinnalla ja ilman lakkaa. Painokehykset valmistettiin 140T painoseulalle, jossa kankaana oli oranssi plain-weave seulakangas. Emulsiona käytettiin Dirasolin 914 fotopolymeeriemulsiota ja kalvotus suoritettiin 2/1 kalvotuskerroilla käsinkalvoituksella.

Painomateriaaliksi valittiin 1,5 mm Enson päällystetty mainospahvi. Paksuudeltaan tämä materiaali oli sopiva, koska siitä voitiin ajon aikana leikata liuskat hankaustestejä varten. Mainospahviarkkeja painettiin kunkin värisarjan värillä 200 kappaletta eli yhteensä 600 kappaletta. Lisäksi painettiin materiaalien mittamuutosten tutkimista varten GallerieArt ja Ensocoat papereita, joiden neliömassat olivat 170, 200 ja 240 g/m<sup>2</sup>, sekä nuuttaustesteihin Walkin päällystettyä miniaaltopahvia. Papereita painettiin 20 ja miniaaltokartonkia 50 kappaletta kutakin lajia. Painatuksessa painonopeutena käytettiin 1500 arkki/h, raakelikulmana 70° ja uunin lämpötilana 55°C. Raakelin puristuspaine oli keskikova. Alunperin tavoitteena oli mitata kullekin värielle kuivumistulokset sekä 40°C että 55°C uunilämpötiloilla, mutta koeajankohtana tuotantokoneet oli kuormitettu täyteen kapasiteettiin varsinaisille tuotantotöille, eikä aikataulu sallinut kokeiden suorittamista kuin 55°C lämpötilassa. Tämä on kuitenkin se lämpötila, joka on optimaalinen koeväreille valmistajien suositusten ja laboratoriokokeiden perusteella.

Mainospahvilta mitattiin värien densiteetti ja kiilto, värillisyyys, kontrasti, pisteprosenttien muutokset sekä hankaustestit ja nuuttauksen kestävyys. Papereilla tutkittiin vesipohjaisen värin vaikutuksia materiaalin kutistumiseen ja miniaaltopahvilta mitattiin värin ja lakan nuuttauskestävyys. Tuotantoprosessin tasaisuutta ei ollut mahdollisuutta mitata rinnakkaispainatuksilla kiireisestä tuotantoaikataulusta johtuen. Tulosten tarkastelussa onkin otettava huomioon, että osa havaituista eroista saattaa johtua tuotantoprosessin tasaisuuden vaihteluista.

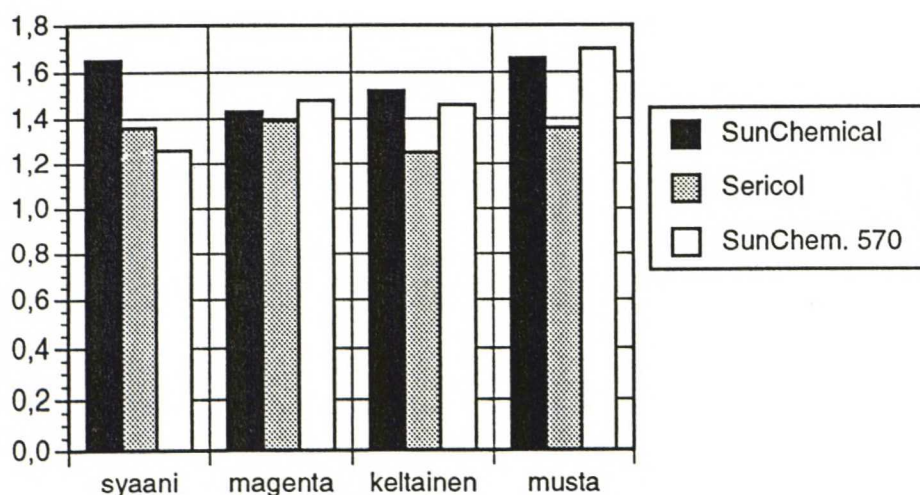
Koska tuotantopainatuksissa käytetyt värit olivat eri valmistuserästä kuin laboratoriotesteissä käytetyt värit, suoritettiin väreille vertailumittaukset viskositeettien osalta. Näillä mittauksilla pyrittiin varmistumaan siitä, että värien koostumusta ei oltu valmistajan toimesta muutettu testien aikana. Vertailumittaukset osoittivat, että värien viskositeetit olivat samat kuin laboratoriokokeissa käytetyillä väreillä. Viskositeettien poikkeamat olivat vastaavalla tasolla, kuin laboratoriokokeissa havaitut mittausten väliset vaihtelut.

Tuotantopainatusten aikana mitattiin painoseulalla olevien vesipohjaisten värien pH-arvoa indikaattoriliuskoilla, jotka ilmoittavat värin pH-arvon yhden yksikön tarkkuudella. Tällä mittauksella haluttiin selvittää vaihteleeiko painettavan värin pH-arvo seulalla painosalin ilman, kosteuden tai paperin vaikutuksesta. Painoseulalla vaihteleva värin pH-arvo saattaisi vaikuttaa painamistapahtumaan värin muuttuvien reologisten ominaisuuksien kautta. Mittauksissa havaittiin kuitenkin molempien vesipohjaisten värien pH-arvon pysyvän painatuksen ajan

vakiona pH-arvossa 6. Mittaukset tehtiin painatuksen alussa, puolivaiheilla ja lopussa. Painatuksen kesto oli kullakin värisarjalla noin kaksi tuntia.

### 8.1 Täyspeitteisen pinnan densiteetti

Koepainoarkeilta mitattiin 15x30 cm täyspeitteisiltä pinnoilta neljän osaväriin densiteetilukemat. Mittauspisteet valittiin kymmeneltä arkilta viidestä eri kohdasta mitattuina rinnakkaismäärittäjinä. Värit ohennettiin vedellä ja ohennusaineella oikeaan painoviskositeettiinsa, mutta värien voimakkuutta ei säädetty vaalennuspastoilla. Tämä siitä syystä, että nähtiin paljonko väriin voimakkuus poikkeaa liuotinväristä. Vaalennuspastoilla väriä on mahdollista vaalentaa muuttamatta väriin viskositeettia. Densiteetilukemat on esitetty valmistaja ja osavärikohtaisesti kuvassa 30.



Kuva 30. Värien densiteettiarvot täyspeitteisillä pinnoilla osaväreittäin.

Densiteetilukemia verrattiin liuotinvärien vastaaviin arvoihin sekä käytännön työssä hyväksi havaittuihin densiteettitasoihin. Yleisinä tavoitedensiteetteinä painossa on pidetty syaanille 1,41, magentalle 1,48 sekä keltaiselle ja mustalle 1,56. Näihin verrattuna Sericolin densiteetilukema oli lähimpänä tavoitearvoa syaanin osalta. Selvästi liian korkea oli SunChemicals arvo. Magentan kohdalla lähimpänä tavoitetta oli 570-liuotinväri, mutta kaikki värit olivat melko lähellä toisiaan. Keltaisessa ja mustassa lähimpänä tavoitetta oli SunChemicals vesipohjainen väri. Sericolin densiteetti oli näissä sävyissä melko alhainen. Missään värisarjassa ei siis saavutettu tavoitedensiteettejä kaikilla osaväreillä. Lähimpänä oli SunChemicals vesipohjainen väri. Sen syaani sävy oli kuitenkin densiteetiltään liian korkea.

Koska värimäärää painoalustalla ei voitu mitata, ei voida päätellä kuinka suuri vaikutus värikerroksen vaihtelulla on saatuihin densiteettiarvoihin. Kuitenkin tulosten tarkastelussa on otettava huomioon, että värimäärän vaihtelu on saattanut muodostaa osan densiteettien vaihtelusta.



## 8.2 Rasteripisteprosentin muutokset

Pisteprosentin muutosten tutkimiseen käytettiin painoarkille kolmeen eri kohtaan asemoituja rasterikiiloja kullekin prosessivärille. Pisteprosentit vaihtelivat portaittain täyspeitteisestä 100% pinnasta 5% rasteripintaan. Rasterikiilojen rasteritiheys oli 24 linjaa/cm, samoin kuin arkille asemoidun 4-värikuvan. Taulukossa 19 on esitetty rasterikiiloista mitatut värien pisteprosentit. Filmin pisteprosentti tiedettiin aikaisemmin suoritetusta mittauksesta filmidensitometrillä. Painoalustan pisteprosentit mitattiin Mainos ja Etiketin Gretag D186 densitometrillä pisteprosentin mittausohjelmalla. Ohjelma laskee pisteprosentit ns. Yule-Nielsenin kaavan mukaisesti. Taulukossa on myös esitetty otoksen hajonta laskettuina pisteprosenteista sekä painetun pisteprosentin ero filmin pisteprosenttiin. Hajonnasta voidaan päätellä sekä kalvotuksen että painatuksen tasaisuutta painoarkin alueella.

Taulukko 19. Värien pisteprosentit, hajonnat ja pisteprosentin muutokset verrattuna filmiin.

Filmin piste%	SunChemical AQ				Sericol Aquacolor				SunChemical 570-s.			
	C	M	Y	K	C	M	Y	K	C	M	Y	K
5%	3,55	4,20	4,44	1,10	0,55	4,11	2,89	1,44	1,33	1,11	0,55	1,33
hajonta	2,87	3,34	2,00	0,78	0,52	0,61	2,57	0,72	0,87	0,93	0,73	0,71
$\Delta$ piste%	-1,4	-0,8	-0,6	-3,9	-4,5	-0,9	-2,1	-3,6	-3,7	-3,9	-4,5	-3,7
25%	26,6	31,9	25,6	11,2	22,6	25,6	25,6	6,77	20,6	19,0	24,8	7,00
hajonta	3,08	5,04	3,47	3,63	3,20	1,80	4,00	2,44	4,37	2,55	2,56	2,74
$\Delta$ piste%	1,6	6,9	0,6	-13	-2,4	0,6	0,6	-18	-4,4	-6,0	-0,2	-12
50%	48,6	59,3	54,0	41,4	49,5	53,2	55,0	39,9	50,0	56,1	54,0	49,0
hajonta	3,20	3,81	6,10	4,45	5,34	2,73	5,57	5,25	10,1	5,43	5,17	7,42
$\Delta$ piste%	-1,4	9,3	4,0	-8,6	-0,5	3,2	5,0	-10	0	6,1	4,0	-1,0
75%	84,6	87,0	86,6	78,1	83,6	86,1	84,3	86,4	80,6	81,4	85,4	86,3
hajonta	2,01	1,41	1,42	3,66	2,55	1,05	2,18	5,53	7,04	3,39	2,40	4,47
$\Delta$ piste%	9,6	12	11,6	3,1	8,6	11,1	9,3	11,4	5,6	6,4	10,4	11,3
95%	98,3	97,3	99,1	98,3	99,1	99,6	99,5	98,9	98,0	99,0	99,3	98,8
hajonta	0,50	0,50	0,33	0,50	0,60	0,52	0,52	0,78	1,80	0,87	1,32	0,54
$\Delta$ piste%	3,3	2,3	4,1	3,3	4,1	4,6	4,5	3,9	3,0	4,0	4,3	3,8

Pisteprosenttien muutosten tutkimista vaikeutti kaaviomateriaalina käytetyn emulsion tarkkuuden asettamat rajoitukset. Emulsiota käytettäessä tulevat valotusaika, kalvotuksen tasaisuus ja paksuus ratkaisevaan asemaan pisteentoiston onnistumisen kannalta. Kokeita varten valmistettujen painokaavioiden emulsiokalvo ei ollut riittävän tasainen, jotta pisteprosenttien vaihtelut voitaisiin tulkita painokoneella tapahtuneiksi, vaan osa pisteprosenttien muutoksesta aiheutui kopioinnissa. Tämä selvisi mm. tarkasteltaessa painojälkeä mikroskoopilla, jolloin nähtiin painoseulan kuitujen rasteripisteisiin jättämät jäljet. Tämä kertoo kalvotuksen olleen liian ohut osassa painoalaa. Tarkempaan kalvotuksen tasaisuuteen ei kuitenkaan nykyoloissa Mainos ja Etiketissä päästä, mikä johtuu siitä, että kalvotus suoritetaan käsin. Suurimmat vaihtelut pisteprosenteissa ilmenivät 75% rasterikentässä. Tällöin pisteen muutos oli suurimmillaan yli

10%. Muissa rasterikentissä vaihtelut jäivät 0-5%:iin. Seripainoprosessille ominainen pisteen pieneneminen näkyy selvästi mittaustuloksissa. Alle 50% rasteripinnoilla miltei kaikissa tapauksissa piste oli pienentynyt.

### 8.3 Kontrasti

Pisteprosenttien muutokset vaikuttavat paitsi painoprosessin kykyyn toistaa pieniä yksityiskohtia, myös rasteripintojen ja peitteisen pinnan väliseen kontrastiin. Kokeissa kontrasti mitattiin kompaktipinnan ja 50% rasteripinnan välillä kaavan 3 mukaisesti.

$$K_{\text{suht}} = (D_K - D_R) / D_K \quad (3)$$

$K_{\text{suht}}$  = suhteellinen kontrasti

$D_K$  = kompaktipinnan densiteetti

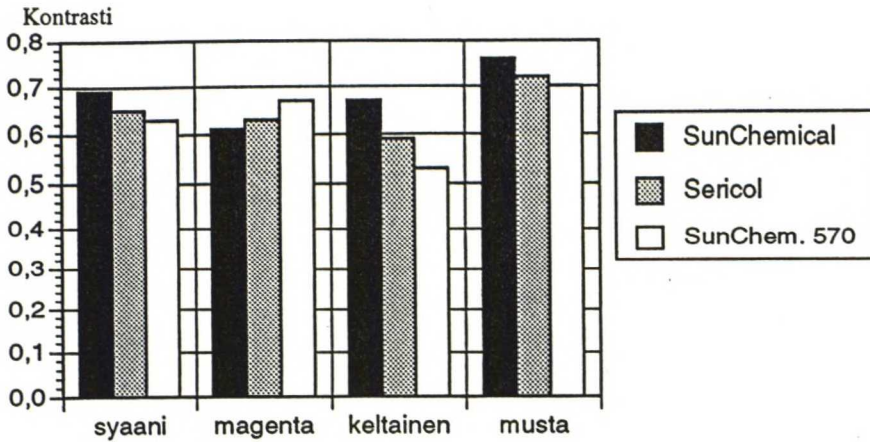
$D_R$  = rasteripinnan densiteetti

Taulukossa 20 on esitetty eri osavärien densiteetit täyspeitteisille- ja rasteripinnoille sekä niiden perusteella kaavan 3 mukaan lasketut kontrastit osaväreittäin. Kaikki osavärit huomioiva keskimääräinen kontrasti on SunChemicalsille 0,68, Sericolille 0,65 ja liuotinvärielle 0,63. Suhteelliset kontrastit tuotantopainetuille väreille on esitetty kuvassa 30.

Taulukko 20. Värien densiteettiärvot täyspeitteisille- ja rasteripinnoille eri osaväreillä.

	SunChemical AQ	Sericol Aquacolor	SunChemical 570-s.
$D_{K/\text{Cyan}}$	1,65	1,36	1,26
$D_{K/\text{Mag}}$	1,43	1,39	1,48
$D_{K/\text{Yel}}$	1,52	1,25	1,46
$D_{K/\text{Black}}$	1,66	1,36	1,70
$D_{R/\text{Cyan}}$	0,51	0,47	0,46
$D_{R/\text{Mag}}$	0,55	0,51	0,49
$D_{R/\text{Yel}}$	0,50	0,51	0,68
$D_{R/\text{Black}}$	0,40	0,38	0,51
Kontr./Cyan	0,69	0,65	0,63
Kontr./Mag	0,61	0,63	0,67
Kontr./Yel	0,67	0,59	0,53
Kontr./Black	0,76	0,72	0,70





Kuva 31. Värien suhteelliset kontrastit osaväreittäin.

Suhteellisesta kontrastista voidaan myös osaltaan päätellä prosessissa tapahtunutta pisteprosenttien muutosta. Vesipohjaisten värien kontrasti oli liuotinväriä parempi, lukuunottamatta magentaa väriä. Erot olivat kuitenkin pieniä. Voidaan kuitenkin sanoa, että kontrastin osalta vesipohjaiset värit yltävät liuotinpohjaisten tasolle.

#### 8.4 Värillisyyys ja kiilto

Painoarkeista mitattiin värien värillisyyys Minoltan CM-1000 R spektrofotometrillä ja kiilto Macbethin Lab Gloss-kiiltomittarilla TKK:n graafisessa laboratoriossa vuorokauden kuluttua painatuksesta. Värillisyyksmittausten tulokset on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. Tuotantopainatusarkeista mitatut painovärien värillisyykskoordinaatit.

	SunChemical AQ			Sericol Aquacolor			SunChemical 570-s.		
	L*	C*	H*	L*	C*	H*	L*	C*	H*
Syaani	36,09	64,72	272,90	34,86	68,16	278,56	48,53	59,59	249,30
Magenta	40,84	72,71	4,53	42,65	75,17	12,87	46,69	77,52	0,65
Keltainen	85,42	104,34	90,45	85,81	99,83	89,21	84,70	104,79	89,44
Musta	10,70	10,97	272,86	16,18	11,97	272,28	10,46	11,22	272,33

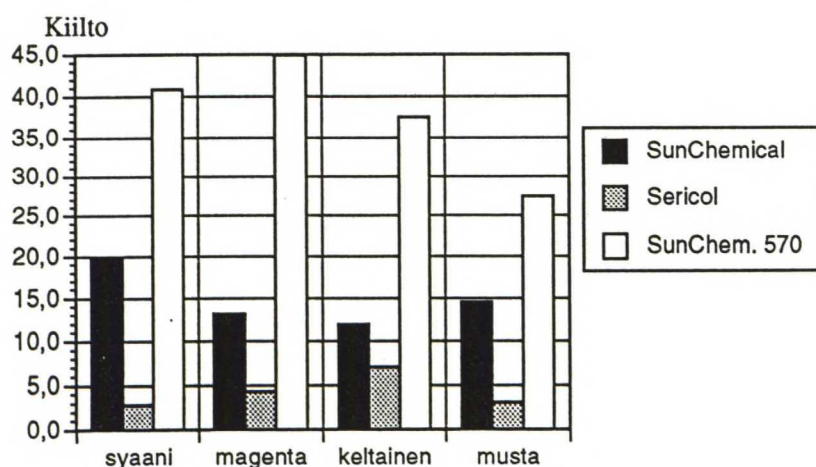
Värillisyydeltään värit poikkesivat melko paljon liuotinvärien Eurooppa-skaalasta, kuten kirjallisuusosan perusteella oli odotettavissakin. Luminanssiarvoltaan 570-sarjan väri oli korkein syaanin ja magentan osalta. Keltaisen ja mustan osalta oli Sericolin värillä korkein luminanssiarvo. Kylläisyydeltään (C\*-arvo) lähempänä liuotinvärien arvoja oli SunChemicals väri. Keltaisen ja mustan värien osalta arvot olivat miltei identtiset, syaanin ja magentan osalta poikkeamaa oli noin viisi yksikköä. Sericolin värillä kylläisyysarvot poikkesivat liuotinväristä 2-10 yksikköä mustaa lukuunottamatta. Sävykulman suhteen värit olivat melko lähellä toisiaan. Merkittävää ero oli vain syaanin osavärien kohdalla, jossa liuotinvärien lukema oli noin 20

yksikköä vesipohjaisten arvoa alhaisempi. Jotta värien käyttö olisi käytännössä mahdollista, tulisi valmistajalla olla mahdollisuus toimittaa väreistä Eurooppa-skaalan värit, jotka ovat värinvoimakkuudeltaan oikealla tasolla. Värin vaalentaminen toistuvasti vaalennuspastoilla ei ole suurissa määrissä mahdollista painotalon kiireisessä tuotantoaikataulussa. Sericolin värissä yllätti melko pienet poikkeamat verrattuna SunChemicals sin väriin, vaikka Sericolin väri oli Din-skaalaa.

Taulukko 22. Värien kiiltolukemat ja hajonnat osaväreittäin.

		SunChemical AQ	Sericol Aquacolor	SunChemical 570-s.
Syaani	kiilto	19,7	2,8	40,8
	hajonta	0,5	0,2	2,0
Magenta	kiilto	13,1	4,3	44,9
	hajonta	0,3	0,2	1,3
Keltainen	kiilto	11,9	7,0	37,5
	hajonta	1,3	0,1	1,4
Musta	kiilto	14,5	3,1	27,4
	hajonta	0,5	0,3	0,7

Kiiltomittausten tulokset on esitetty taulukossa 22. Kiiltomittausten tulokset on esitetty myös graafisesti kuvassa 32. Mittaukset suoritettiin kaikista neljästä osaväristä eri värisarjoilla. Värisarjojen välillä on huomattavia eroja. Korkein kiilto oli SunChemicals in liuotinpohjaisella 570-sarjalla, jonka kiilto oli keskimäärin tasolla 35 yksikköä. Vesipohjaiset värit jäivät selvästi matalakiiltoisemmiksi. SunChemicals in vesipohjaisen sarjan kiilto oli noin 15 yksikköä ja Sericolin noin viisi yksikköä.



Kuva 32. Värien kiiltoarvot osaväreittäin.

Saman valmistajan värisarjojen eri osavärien kiiltovaihtelut olivat suuria. Esimerkiksi SunChemicals in keltaisen osaväri kiilto oli vain 11,9 yksikköä, kun taas syaanin kiilto oli 19,7 yksikköä. Vesipohjaisten värien alhaisempi kiiltotaso verrattuna liuotinväreihin on negatiivinen



piirre mm. mainospainatuksissa, jolloin korkeamman kiillon saavuttamiseksi tuote on lakattava. Värien orgaanisten liuottimien pitoisuus ei vaikuttanut saavutettavaan kiiltoon. Suurimman liuotinainepitoisuuden sisältävä väri oli kiiltävin, mutta Sericol, joka sisälsi toiseksi eniten orgaanisia liuottimia, oli kiilloltaan huonoin. SunChemicals sin vesipohjaisen värisarjan kiilto oli keskitasoa ja sen liuotinainepitoisuus oli pienin.

## 8.5 Kuivumisominaisuudet

Painatuksen aikana arkeista mitattiin TKK:n rub-off laitteella värien kuivuminen välittömästi uunijälkeen. Vuorokauden kuluttua painatuksesta suoritettiin graafisen tekniikan laboratoriossa Andersson&Sørensen rub-off testi, jossa mitattiin painojäljen kosteuskäytävyyttä. Taulukossa 23 on esitetty välittömästi uunikuivauksen jälkeen mitatut kuivahankaustestin densiteettilukemat sekä taulukossa 24 A&S-testin densiteettilukemat.

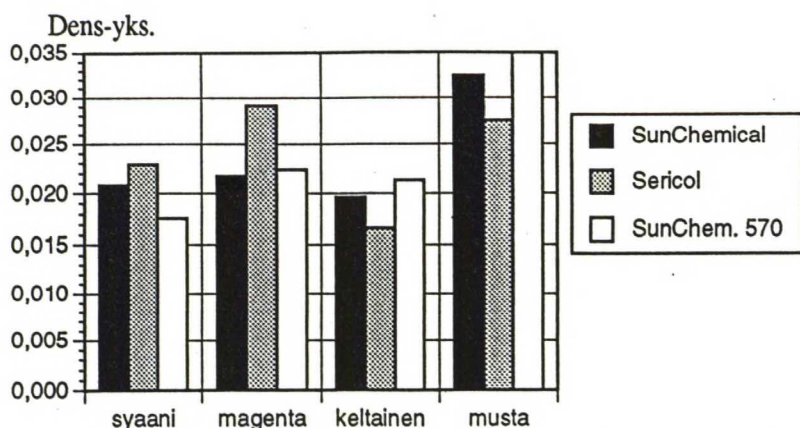
Taulukko 23. TKK:n testissä vastapaperille siirtyneiden väripintojen densiteettiarvot tuotantopainatuksissa.

	SunChemical AQ	Sericol Aquacolor	SunChemical 570-s.
Syaani	0,0208	0,0229	0,0176
Magenta	0,0217	0,0291	0,0224
Keltainen	0,0196	0,0167	0,0213
Musta	0,0325	0,0275	0,0350

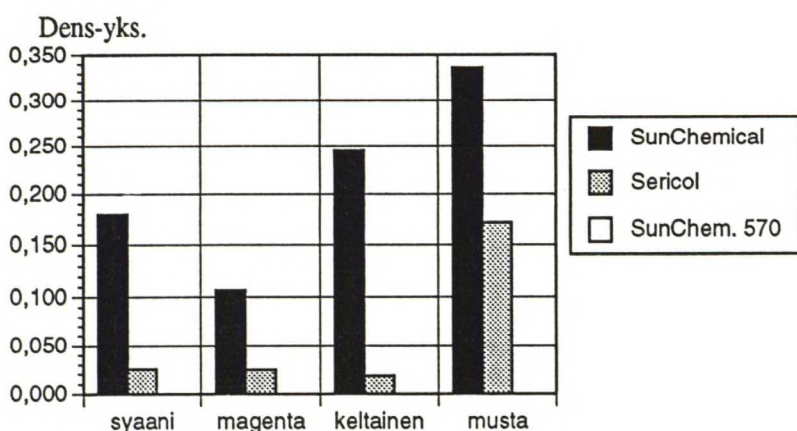
Taulukko 24. A&S-testissä vastapaperille siirtyneiden väripintojen densiteettiarvot tuotantopainatuksissa.

	SunChemical AQ	Sericol Aquacolor	SunChemical 570-s.
Syaani	0,1795	0,0255	0
Magenta	0,1070	0,0245	0
Keltainen	0,2455	0,0185	0
Musta	0,3365	0,1720	0

TKK:n ja A&S:n testien tulokset on esitetty kuvissa 33 ja 34. Kuvassa 34 SunChemicals sin 570-väriin puuttuva pylväs johtuu siitä, että testimuuttujilla ei Andersson&Sørensenin testissä 570-väriin vastakankaaseen tarttunut lainkaan väriä. Väriin pysyvyys oli siis tässä kostutetussa koeolosuhteessa täydellinen.



Kuva 33. TKK:n hankaustestissä siirtyneen värimäärän densiteettilukema.



Kuva 34. A&S-testissä siirtyneen värimäärän densiteettilukema.

Kuivumismittaukset suoritettiin tuotantopainatuksista täysin vastaavalla menetelmällä kuin laboratoriopainatuksistakin. Koska A&S-kosteushankaustestissä käytetty puuvillakangaslaatu jouduttiin vaihtamaan tuotantopainatuksiin, ei niiden tulokset ole absoluuttisilta arvoiltaan vertailukelpoisia laboratoriomittausten kanssa. TKK:n kuivahankaustestissä värien paremmuusjärjestys määräytyi osavärikohtaisesti. Syaaniassa liuotinväri kuivui parhaiten, magentassa SunChemicalsinkin vesipohjainen väri ja keltaisessa sekä mustassa Sericolin väri. Värien erot olivat kuitenkin pienet. Mustassa osavärissä mitattiin korkeimmat densiteettilukemat vastapaperilta, ilmeisesti johtuen mustassa väriä käytetystä hiilestä.

A&S-testissä havaittiin selkeä kosteudenkestoero vesi- ja liuotinpohjaisten värien kesken. Liuotinpohjaisen värin vastakankaalta ei pystytty mittaamaan minkäänlaisia värin tahraamisjälkiä, vaan kangas säilyi täysin puhtaana. SunChemicalsinkin värin kosteudenkesto oli näistä väreistä heikoin. Vastakankaalta mitatut densiteettilukemat vaihtelivat välillä 0,1-0,35 yksikköä. Mustalla osavärillä mitattiin molemmilla vesipohjaisilla väreillä suurin tahraavuus. Sericolin värin kosteudenkesto oli edellämainittujen värien väliltä. Muiden, paitsi mustan osavärien kosteudenkesto, voidaan pitää vesipohjaiselle värille hyvänä. Syaaniin, magentan ja



keltaisen tahraavuus jäi Sericolilla kosteana alle 0,025 densiteettiyksikön. Näin ollen myös hankaustestien osalta voidaan tuotanto- ja laboratoriopainatusten vastaavuutta pitää hyvänä.

## 8.6 Mittamuutokset sekä murtuminen nuuttauksessa

Mittamuutosten tutkimista varten oli tarkoitus painaa papereita neliömassoiltaan 170, 200 ja 240 g/m<sup>2</sup>. Painoltaan 170 g/m<sup>2</sup> paperi oli GallerieArt:ia ja muut neliömassan paperit olivat Ensocoat:ia. Näitä papereita ja näiltä valmistajilta käytetään Mainos ja Etiketissä yleisesti. Alle 170 g/m<sup>2</sup> paperin ajaminen Mainos ja Etiketin sylinterikoneissa on teknisesti melko hankalaa, ja tuotantonopeuksia joudutaan tällöin laskemaan. Ennen painatuksia suoritetuissa esikokeissa kuitenkin havaittiin, että edes 170 g/m<sup>2</sup> paperi ei kutistu painatuksessa niin paljon, että mittamuutosta voitaisiin käytetyllä mittausmenetelmällä luotettavasti havaita. Painamisen jälkeen arkkiin syntyi tasoon nähden kohtisuoraa ”aaltoilua”. Kun arkki pakotettiin tason kanssa kontaktiin, huomattiin että mittauksella havaittavaa mittamuutosta ei ollut syntynyt. Mittaukseen käytettiin ns. metrimittaa, jonka mittatarkkuus on noin 1 mm. Pohdintoista huolimatta ei keksitty menetelmää, jolla arkin mittamuutoksia voitaisiin tarkemmin mitata. Painatuksessa jo puolen millimetrin kutistuma, joka ei kuitenkaan menetelmällä ollut mitattavissa, aiheuttaa vaikeuksia kohdistuksessa.

Täyspeitteisillä pinnoilla tutkittiin miniaaltopahvin kestävyyttä nuuttauksessa lakattuna sekä ilman lakkaa. Lakkaus suoritettiin kuuden vuorokauden kuluttua painatuksesta ja nuuttaus yhden vuorokauden kuluttua lakkauksesta. Pinnat, jotka nuutattiin lakkaamattomina, kestivät nuuttauksen ja pahvin taivuttamisen molemmilla vesipohjaisilla väreillä täysin ilman murtumista. Nuuttauksen vaikutus väri- ja lakkakerrokseen havainnoitiin visuaalisesti. Murtuva värikerros muodostaa selvästi havaittavan valkoisen raidan värin taitekohtaan. Vaikka miniaaltopahvia taitettiin molempiin suuntiin ja yli normaalin taivutuskulman, ei väreissä havaittu minkäänlaista murtumisjälkeä. Nuuttauksessa käytettiin kaikille väreille samaa nuutilinjaa ja puristuspainetta. Vesipohjaisen värin muodostama kuiva väripinta on näiden tulosten perusteella joustavampi kuin liuotinpohjaisen värin pinta. Pinnan päälle painettu paksu UV-lakkakerros on murtumisen kannalta hyvin kriittinen. Mitä pitempi aika on kulunut värin ja lakan painamisesta, sitä helpommin pyrkivät sekä väri- että lakkakerros murtumaan. Ajan pidentyessä väri ja lakka kuivuvat myös arkkipinoissa, ja niiden pinnat muuttuvat vähemmän joustavaksi. Siksi lakkaus ja nuuttaus on toivottavaa suorittaa melko lyhyen ajan kuluttua painatuksesta. Testeissä nämä ajat olivat normaalia pidemmät, jotta nähtäisiin selkeästi mahdollinen murtuminen. UV-lakatusta pinnoista suoritettu nuuttaus ja pahvin taivuttaminen antoivat myös hyvät tulokset. Kummatkaan väri- tai lakkapinnat eivät murtuneet normaalissa taivutuksessa. Sen sijaan taivutettaessa pahvia yli normaalin taivutuskulman tai edestakaisin, aiheutui molempiin väri- ja lakkapintoihin murtumia. Murtumat syntyivät kuitenkin vasta voimakkaan taivuttamisen jälkeen ja SunChemicals värin hieman helpommin kuin Sericolin väriin. Murtuminen ei kuitenkaan tapahtunut yhtä helposti, kuin liuotinpohjaisilla väreillä.



## 9 TULOSTEN TARKASTELU

Diplomityöhön valitut värit osoittautuivat selkeästi toisistaan poikkeaviksi monessakin suhteessa. Parasta väriä ei ollut tarkoituksenmukaista nimetä, vaan paremmuusjärjestys määrytyi aina tarkasteltavan ominaisuuden mukaan.

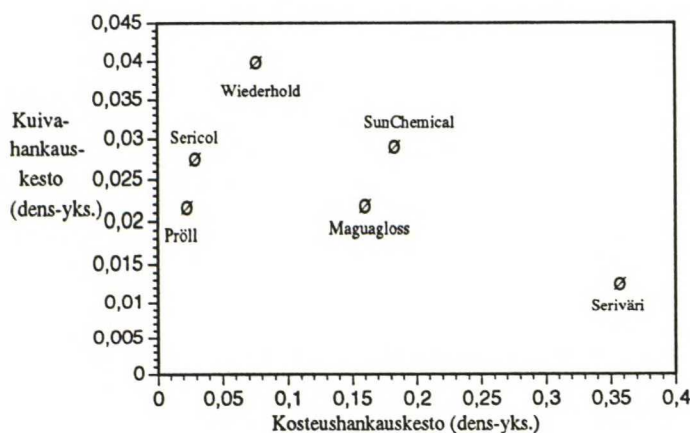
Värien suuresti toisistaan poikkeavien reometristen ominaisuuksien ei havaittu olevan merkityksellisessä asemassa tarkasteltaessa värien käyttäytymistä painatuksessa. Sericolin värin kuivumisvaikeuksia, joita laboratoriokokeiden yhteydessä pohdittiin, ei tuotantopainatuksissa havaittu. Lämpötilan noustessa aleneva viskositeetti ei siis välttämättä ole merkki kuivumisvaikeuksista, vaikka lämpöliikkeen aiheuttama viskositeetin pieneminen on suurempaa kuin kuivumisesta johtuva viskositeetin nousu. Värien pH:n havaittiin pysyvän tasaisena painoseulalla painatuksen aikana. Jos painatus kestää kauemmin kuin tässä työssä, eli yli kaksi tuntia, saattaa värin pH-arvo muuttua. Värin painatusominaisuuksien tasaisuuden varmistamiseksi tulisi pH-arvon pysyä seulalla vakiona.

Ohentaminen on suoritettava vesipohjaisilla väreillä huolellisemmin kuin liuotinväreillä. Liiallinen ohentaminen aiheuttaa vesipohjaisilla väreillä helpommin seurauksena kuivumisvaikeuksia. Liiallinen veden lisääminen aiheuttaa myös joihinkin väreihin viskositeetin epätasaisuutta, joka saattaa painatuksessa johtaa värinsiirtohäiriöihin ja painoalustalle siirtyvän värimäärän vaihteluihin. Tuotantopainatuksiin valituilla SunChemicalsilla ja Sericolilla ei yliohentamisen havaittu aiheuttavan kuivumishäiriöitä. Densiteetin vaihtelun yhteyttä ohentamisesta johtuneisiin värimäärän vaihteluihin ei pystytty osoittamaan. Jos ohentaminen suoritetaan oikeassa suhteessa riittävästi sekoittaen, ei tulosten perusteella ole odotettavissa ohennuksesta aiheutuvia painatusvaikeuksia. Lämpötilagradienttiohjelmalla suoritettut viskositeettimittaukset osoittivat, että painosalin ilman lämpötilavaihtelut eivät ole merkittävässä määrin vaikuttamassa värien viskositeettiin ja sitä kautta esimerkiksi värinsiirtoon.

Vesipohjaisten värien soveltuvuus rasteripainatuksiin rajoittuu suuresti seripainokaavion toistokykyyn. Jos kaavio valmistetaan suoramenetelmällä, eli emulsiolla, on tasaiseen pisteentoistoon vaikea päästä. Alle viiden prosentin vaihtelut pisteprosenteissa voidaan todennäköisesti saavuttaa vesipohjaisilla väreillä vain käyttämällä vedenkestävää kapillaarifilmiä. Puolisuoran menetelmän kapillaarifilmin hinta on moninkertainen verrattuna emulsioon. Itse vesipohjainen väri on kuitenkin piirtokyvyltään verrattavissa liuotinväreihin. Vesipohjaisilla väreillä kahden-kolmen prosentin rasteripisteet ovat jopa helpommin toistettavissa painatuksen aikana. Liuotinväreihin verrattuna painoseulan aukipysyminen on parempi hitaamman kuivumisen ansiosta. Tämä ilmeni kokeissa pienempien pisteiden toistumisena.



Painovärien kuivumisominaisuuksia tutkittiin TKK:n ja A&S:n hankaustesteillä. Testeissä ei havaittu kuiva- ja kosteahankauskeston riippuvan toisistaan, vaan esimerkiksi Sericol, joka oli parhaita värejä kosteahankauskeston ollessa keskitasoa. Tämä selittyy todennäköisesti hartsin eri ominaisuuksilla, joita eri testit mittaavat. Esimerkiksi kaksikomponenttihartsilla on hyvä kosteudenkesto, mutta tämän hartsin kuivahankauskesto saattaa olla muihin hartseihin verrattuna vain keskinkertainen. Kun kuiva- ja kosteahankauskesto sijoitettiin samaan koordinaatistoon, voitiin vertailla näiden ominaisuuksien suhdetta eri väreillä. Tämä on esitetty kuvassa 35. Kutakin väriä esittävän pisteen etäisyys origosta kuvaa sitä, kuinka hyvä hankauskesto värillä on. Värien etäisyys järjestyksessä origosta on Pröll, Sericol, Maguagloss, SunChemical, Wiederhold ja Seriväri. Tuotantopainatuksista tehdyt hankaustestit osoittivat vesipohjaisten värien kuivuvan vastaavissa olosuhteissa kuin liuotinvärit. Kuivauslämpötila 55°C osoittautui parhaimmaksi. Kokeet osoittivat vesipohjaisten värien kuivuvan normaalilla tuotantonopeudella riittävän hyvin yksipuoleisissa painatuksissa, eikä arkkien tahriintuminen tai toisiinsa tarttuminen muodostunut ongelmaksi. Kaksipuolisissa painatuksissa, kun käytettäviä värikerroksia on useita ja painoalustalle siirtyvä värimäärä on suuri, on värikerroksen kuivumista seurattava tarkemmin. Mahdollisissa myöhemmin suoritettavissa lisäkokeissa tulisi tätä seikkaa tutkia tarkemmin.



Kuva 35. Kuiva- ja kosteahankauskeston keskenäinen korrelaatio testiväreillä.

Kosteahankaustestissä käytettiin kostutetulla puuvillakankaalla varustettua A&S-värinhierrinlaitetta. Parhaat värit kosteudenkestoltaan olivat Sericol ja Pröll. Sericolin värin tulosta voidaan pitää hyvänä myös siitä syystä, että sen kosteudenkesto oli Pröllin tasolla ilmeisesti selvästi pienemmällä orgaanisten liuottimien osuudella. Seuraavaksi parhaat kosteudenkestoltaan olivat Wiederhold, SunChemicals ja Maguagloss. Seriväriin kosteudenkesto oli jo selvästi edellämainittuja värejä huonompi. Jos tarkastellaan liuotinpitoisuuden ja kosteudenkeston suhdetta, parhaaseen tulokseen pääsee SunChemicals ja Sericol. Hieman näitä huonompi on Maguagloss. Orgaanisen liuottimen osuuden nostaminen väriässä parantaa selvästi värin kosteudenkestoa, kuten työssä on aikaisemmin todettu. Kosteudenkestoltaan vesipohjaiset painovärit osoittautuivat liuotinvärejä heikommiksi. Tämä



kävi selvästi ilmi tuotantopainatuksista suoritetuista kosteahankauskestokokeista. Kosteudenkeston merkitys taas määräytyy tuotteen käyttötarkoituksen mukaan. Jos lopputuotteelta vaaditaan kosteudenkestoa esimerkiksi pitkäaikaisen ulkokäytön vuoksi, on väriksi valittava liuotinväri. Jos kosteudenkestovaatimus ei ole näin tiukka, voidaan valita myös jokin kosteutta hyvin kestävä vesipohjainen väri, kuten Pröll, Sericol tai Wiederhold. Jos lopputuotteelta ei vaadita kosteudenkestoa tai sen merkitys on vähäinen, täyttävät kaikki tutkitut värit vaatimuksen.

Värien kiinnittyminen myös PVC-muoville testattiin. Vesipohjaisen värin kiinnittymisen muoveille tiedettiin olevan selvästi heikompaa kuin kuitupohjaisille alustoille. Yleisimmin käytetyt muovilaadut seripainatuksessa ovat PVC-muovi, polyesterit ja polypropeenit. Värien kiinnittyminen PVC-muoville todettiin selvästi huonommaksi kuin paperille ja pahville. Wiederholdin väri olikin ainoa, joka kiinnittyi muoviin paremmin kuin pahviin. Tämä havaittiin sekä kuiva- että kosteudenkestossa. Muilla väreillä hankaustestin tulokset olivat huonommat muoville. Tämä osoittaa nimenomaan muovialustalle sovitettun värin merkityksen esim. PVC:lle painettaessa. Vesipohjaisten värien käyttö muovialustoilla on kuitenkin mahdollista, mutta tällöin tulee varmistua painoalustan riittävän korkeasta pintaenergiasta. Tarvittaessa muovialustan pintaenergiaa on nostettava ennen painatusta joko koronakäsittelyllä tai liekitysmenetelmällä. Jatkossa olisikin hyvä suorittaa lisätutkimuksia siitä, missä määrin muovin pintaenergian nostamisella voidaan vaikuttaa vesipohjaisten painovärien kiinnittymiseen muovialustalle.

Laboratorio- ja tuotantokoepainatuksista mitatut värien kiillot ja värillisyydet eivät poikenneet toisistaan suuresti. Luminanssikoordinaatti oli Sericolin sekä SunChemicalsinkin molemmilla väreillä tuotantopainatuksissa noin kymmenen yksikköä suurempi kuin laboratorio-painatuksissa. Ero oli samankaltainen myös värillisyysskoordinaatissa. Värin sävyä ilmaisevat  $H^*$ -koordinaatit olivat kaikilla väreillä tuotantopainatuksissa laboratoriopainatusten arvoja pienemmät. Kiiltolukemat olivat molemmissa painatuksissa täysin vastaavilla tasoilla. Värien värillisyydsarvot olivat melko lähellä nykyään käytössä olevien liuotinpohjaisten värien arvoja. Poikkeamat värillisyydessä eivät todennäköisesti aiheuttaisi korjaustoimenpiteitä prosessiin, jos rasterikuvia siirryttäisiin painamaan nelivärisarjan vesipohjaisilla väreillä. Sensijaan kiillon osalta tulee varautua selvään kiiltotason laskuun verrattuna liuotinväreihin. Silloin, kun esimerkiksi kustannusten kannalta on mahdollista, voidaan vesipohjaisten värien päälle painaa joko ns. seripaino- tai korkeakiiltoisempi UV-lakka kiiltotason nostamiseksi.

Vesipohjaisten värien paperille aiheuttamat käyristymiset ja kutistuminen rajoittavat vesipohjaisten värien käyttöä paperialustoilla. Mitä useampi värikerros painetaan, sitä paksumpaa tulee paperin olla, jotta välttyään liiallisilta painoalustan mittamuutoksilta. Työssä ei voitu mitata painoalustan mittamuutoksia riittävän tarkan mittaussuomenetelmän puuttumisen vuoksi. Kuitenkin painatuksessa tapahtuva painomateriaalin kutistuminen aiheuttaa jo 0,5 mm



suuruisena vaikeuksia kohdistuksessa. Tämän mittakaavan kutistumaa ei pystytty käytetyillä mittausten menetelmillä havaitsemaan. Tästä syystä painovärikerrosten määrästä ja paksuudesta riippuvia painoalustan neliömassarajoja ei voitu määrittää kokeellisesti. Painopaperien neliömassa-alaraja on määritettävä tapauskohtaisesti tukeutuen esim. väri valmistajien antamiin suosituksiin ja saatuihin kokemuksiin tai on suoritettava esikokeita.

Nuuttauskokeissa tutkittiin painetun ja lakatun väripinnan murtumista taivutuksessa nuuttauksen jälkeen. Molemmat vesipohjaiset värit kestivät taivutuksen ilman lakkaa ja lakattuina paremmin kuin vastaavat liuotinvärit. Ilman lakkausta taivutetut väripinnat eivät murtuneet ollenkaan ja lakatut väripinnat vain vasta melko kovan taivutuksen jälkeen. Normaalitaivutuksella lakatutkaan pinnat eivät murtuneet. SunChemicals väri murtui hieman Sericolin väriä herkemmin. Nuuttaus ja taivutus suoritettiin useita vuorokausia myöhemmin painatuksesta kuin normaalituotannossa. Näin haluttiin asettaa väreille vaativat testiolot, jotka tuovat esiin mahdollisen murtumisen. Tuloksista voidaan päätellä vesipohjaisten värien kestävästi nuuttauksen lakattuina paremmin kuin liuotinvärit. Tämä mahdollistaa värien helpomman jälkikäsitteilyn painatuksen jälkeen. Myös pitkänkin ajan kuluttua lakkauksesta suoritettu nuuttaus on tn. mahdollista toteuttaa täysin ilman murtumista vain vesipohjaisilla väreillä.

Kun värejä hankittiin testeihin, havaittiin monella valmistajalla olevan toimitusvaikeuksia, jotka ilmenivät pitkinä toimitusaikoina ja luvattujen aikojen venymisenä. Jotta värejä voitaisiin käyttää tuotannossa, on varmistuttava siitä, että toimitusajat eivät veny useiden viikkojen ja jopa kuukausien mittaisiksi, kuten testiväreillä kävi. Syynä tähän oli luultavasti värien uutuusluonne, jonka johdosta maahantuojailla ja joissakin tapauksissa myös valmistajilla ei löytynyt väriä varastosta, vaan oli odotettava seuraavan värierän valmistumista tehtaalta.

Liitteessä 3 arvioidaan kutakin testattua vesipohjaista väriä tapauskohtaisesti. Väristä pyritään kertomaan tiivistetysti testeissä havaitut värin ominaispiirteet ja värin käytön kannalta oleelliset tiedot.

## 10 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää vesipohjaisten seripainovärien käyttömahdollisuuksia tuotannossa ja niiden mahdollisuuksia korvata liuotinvärejä. Vesipohjaisten värien voimakas kehitys ja ympäristösäännösten tiukkeneminen ovat tuoneet vesipohjaiset värit todelliseksi vaihtoehdoksi liuotinväreille seripainoissa.

Työn kirjallisuusosassa käsiteltiin aiheen ymmärtämisen kannalta oleellisilta osin seripainoprosessin eri yksikköoperaatioita. Kirjallisuuden pohjalta tutkittiin seripainoväreiltä vaadittavia ominaisuuksia ja värien koostumusta. Vesipohjaisten värien mukanaantuuksia

parannuksia arvioitiin ympäristönsuojelullisista näkökohdista, samoin kuin värien vaikeampaa siistautuvuutta verrattuna liuotinväreihin.

Kokeellisessa osassa testattiin laboratoriomittakaavassa värien reologisia ominaisuuksia reometrillä ja värien koostumuksellisia ominaisuuksia pyrittiin selvittämään termogravimetrimittauksilla. Vesipohjaisilla väreillä suoritettiin laboratoriossa ns. käsipöytä-painatukset, joissa värien ominaisuuksia tutkittiin pienimittakaavaisella käsikäyttöisellä painolaitteella. Käsipöydällä painettiin painonäytteet sekä kuitu- että muovialustalle. Painojäljestä mitattiin värin kuivumisominaisuuksia rub-off kuivahankaustestillä, kosteushankauskestoa sekä värin optisia ominaisuuksia.

Laboratoriokokeiden perusteella valittiin tuotantomittakaavaisiin koepainatuksiin kaksi vesipohjaista värisarjaa sekä vertailuvärisarjaksi yksi liuotinväri. Väreillä painettiin tuotantosylinterikoneilla neliväritestikuva, johon oli asemoitu mittausta varten tarpeelliset kentät. Painoalustoina käytettiin mainospahvia ja miniaaltopahvia. Lisäksi käsipöydällä suoritettiin testit vesipohjaisilla väreillä painetun paperimateriaalin kutistumisesta. Painetuilla ja lakatuilla miniaaltopahveilla suoritettiin koenuuttaukset värin ja lakan mahdollisen murtumisen toteamiseksi.

Värien havaittiin poikkeavan suuresti toisistaan reologisten ominaisuuksien osalta. Tämä on kuitenkin seripainoväreille tyypillistä. Densiteetiltään, kontrastiltaan, värillisyydeltään ja pisteprosenttien muutokseltaan värit olivat vertailukelpoisia. Vesipohjaiset värit olivat selvästi liuotinpohjaisia värejä matalampikiiltoisempia. Myös kuivumisominaisuuksiltaan värit olivat toistensa kaltaisia. Lämpötilalla 55°C päästiin väreillä parhaaseen kuivaustulokseen. Kosteudenkestoltaan värit poikkesivat toisistaan suuresti. Tämän havaittiin korreloivan melko selvästi värin orgaanisten liuottimien osuuden kanssa. Esimerkiksi liuotinvärin kosteudenkesto saman valmistajan vesipohjaiseen väriin verrattuna todettiin paremmaksi. Painetuissa ohuissa paperiarkeissa tapahtuvaa mittamuutosta ei pystytty mittaamaan, johtuen mittaukseen soveltuvan menetelmän puuttumisesta. Nuuttauksen osalta vesipohjaiset värit osoittautuivat liuotinpohjaisia paremmiksi. Ilman lakkausta nuutatut ja taivutetut väripinnat eivät murtuneet kummallakaan värillä. Myöskään UV-lakatut väripinnat eivät murtuneet normaalitaivutuksessa. Taivutettaessa pahvia yli normaalin taivutuskulman syntyi kumpaankin väriin pieniä murtumia, jotka kuitenkin olivat pienempiä kuin liuotinväreillä esiintyvät murtumat.

Värien hintavertailussa todettiin vesipohjaisten olevan vastaavan hintaisia, tai jopa kalliimpia kuin liuotinvärit. Vesipohjaisten värien käytön lisääntyessä päästään kustannuksissa todennäköisesti liuotinvärien tasolle ja jopa allekin. Vesipohjaisten värien käyttö vähentää liuotinaineiden tarvetta myös ohennuksessa ja pesussa.



## LÄHDELUETTELO

1. Anon. H<sub>2</sub>O color. Der Polygraph 45(1992)8, s. 20-21.
2. Anon. Water power and Mr. Marr. Screen Prosess 42(1992)6, s. 14-15.
3. Baker, T.J., Smith, S.M., Teeters, S.M. High performance additives for water based inks. American Ink Maker 70(1992)3, s. 76-79, 80.
4. Blanco, F. Jr. Usage guidelines for water-based graphics inks. Screen Printing 82(1992)9, s. 64-67.
5. Bosch, H. Entwicklungstendenzen bei Siebdruckfarben. Der Polygraph 40(1987)22, s. 2144, 2146, 2149-2150.
6. Coates Brothers GmbH. Screen Printing Digest. Lübeck 1992. Der Coates Lorilleux Screen Gruppe. 48 s.
7. Czarnecki, R. Formulating inks to meet the challenge of the regulatory age. Flekso 17(1992)12, s. 8, 10, 12, 14.
8. Duennes, J. E. Substrate and application considerations for water-based inks. Screen Printing 82(1992)9, s. 60-63, 162-163.
9. Duppen, J.V. Manual for Screen Printing. Graphiche Werkstätten GmbH. Lübeck 1982. 190 s.
10. Eldred, N. R. What the printer should know about ink. 2. p. Pittsburgh 1990, GATF. 252 s.
11. Fedrigon, T. Wastewater treatment for water-based flekso inks. Flekso 17(1992)12, s. 36-37, 41.
12. Field, S. Proper water ink pH content helps achieve quality graphics. Flekso 14(1989)4, s. 40-43.
13. Fishman, D.H. Heavy metals regulations for printing ink users. American Ink Maker 70(1992)3, s. 68-75.
14. Heger, K. Trocknung und lösemittelretention im verpackungsdruck. Papier und Kunststoff verarbeiter 26(1991)12, s. 10, 12, 14, 16, 18.
15. Hruzewicz, J.N. Deinking of waste paper containing water based prints. Flekso 17(1992)6, s. 28, 31, 33.
16. Hruzewicz, J.N. Flotation deinking now possible for water-based flekso newsprint. Flekso 18(1993)4, s.10-13.
17. Isoaho, S. Poikkeavat jätevedet. Valtakunnalliset ympäristöhuoltopäivät Tampere 6.-8.6.1990. 14 s.
18. Johnson, G.E. Controlling and handling water-based inks. Flekso 15(1990)12, s. 50, 60-61.
19. Johnston, G.R. Swimming in the sea of regulations. Flekso 17(1992)4, s. 14-17.

20. Jones, L. How we anticipated and corrected problems when converting to water. *Flekso* 15(1990)7, s. 43-45.
21. Korhonen, M., Grönlund, A. Painovärien ekologinen kiertokulku. Espoo 1992, TKK graafisen laboratorion tutkimusraportti n:o 17. 32 s.
22. Laurila, A. Painovärien valmistaja kehittää vaatimuksia puhtaammalle painotyölle. *Pakkaus* 29(1993)4, s. 49-51.
23. Leach, R.H. *The Printing Ink Manual*. 4. p. Lontoo 1988, Reinhold Van Nostrand Co. Ltd. 872 s.
24. Loy, H.-W. "Wasserfarben" – das thema im siebdruck. *Siebdruck-Praxis* (1992)2, s. 28-30.
25. Maloney, S. Getting the best from waterborne inks. *Flekso* 16(1991)6, s. 44-46.
26. Marabouwerke GmbH. Marabou Libragloss seripainovärien tuotetiedote.
27. Marabouwerke GmbH. Marabou Maguagloss vesipohjaisen seripainovärien tuotetiedote.
28. Mattsson, N-B. Är objektiva mätmetoder för raster något för screentryck? *Screen Marknaden* 4(1992)3, s. 18-19.
29. May, J. C. A successful switch from solvent to aqueous printing inks on nonporous materials. *American Ink Maker* 69(1991)10, s. 54, 56, 58.
30. Oestreich, J. Water-based inks are better than ever. *Flekso* 15(1990)2, s. 44-45.
31. Oittinen, P., Saarelma, H. Graafinen materiaalitekniikka. Espoo 1986, Otakustantamo. 221 s.
32. Podhajny, R. M. Waterborne inks proven as acceptable alternative. *Paper, Film and Foil Converter* 62(1988)7, s. 50-53.
33. Renson, J. Environmental regulations effecting the printing industry. *American Ink Maker* 70(1992)3, s. 30-32, 34.
34. Schroeder, R. C. Improving print quality with water-based UV inks. *Screen Printing* 83(1993)6, s. 68-71.
35. Screen Center. Pröll Aqua-Jet FGL vesipohjaisen seripainovärien tuotetiedote.
36. Seddon, D. The development of graphic screen inks. *Ink & Print* 8(1991)4, s. 21-23.
37. Sericol Aquacolor QL vesipohjaisen seripainovärien tuotetiedote. Lontoo 1991.
38. Sipilä, P. EY:n direktiivien vaikutus Suomen vesiensuojelulainsäädäntöön. Valtakunnalliset ympäristöhuoltopäivät Tampere 6.-8.6.1990. 17 s.
39. Soikkeli, A. Sopimus yleisen viemärlaitoksen kanssa. Valtakunnalliset ympäristöhuoltopäivät Tampere 6.-8.6.1990. 9 s.
40. SST. *A handbook for the Screen Printer*. Schweiz 1991. Seidengazefabrik AG Thal. 161 s.
41. SunChemical. Passad AQ-51 vesipohjaisen seripainovärien tuotetiedote ja painotekniset ohjeet.



42. Svarrer, S. Vatten är lösningen för 90-talets screentryck. Grafisk Forum 96(1991)4, s. 12-14.
43. Weiss, H. L. Waterborne inks, coatings need modern drying systems. Paper, Film and Foil Converter 62(1988)11, s. 120-123.
44. Werther, H.-V. Water-based printing inks: Limitations and opportunities. Flekso 16(1991)9, s. 36, 38-39.
45. Wiederhold vesipohjaisen seripainovärin tuotetiedote. Nürnberg 1991.
46. Viitaharju, P., Niskanen, K. Käyryyden mittaus arkipinoista. Espoo 1993, PSC communications 48. 22 s.
47. Williams, J. Screen printing stays the course. British Printer 103(1990)11, s. 32-34, 38.
48. Zuck, R.A. Technology, regulations push water systems ahead. Paper, Film and Foil Converter 64(1990)9, s. 58-60.

e 1. 1(20)

N VDR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

em, mag, mitt. 1

Viscometry test

1993-07-08 13:43:00

ring system: CP 1/30

e element: 304.688 g cm

tozero.

Sensitivity: 1 x

ant delay time: 5 s

Integration time: 2 s

perature: Constant

measurements: 1

Measurement interval: 16 s

al equilibrium time: 60 s

e	Temp °C	Shear rate no 1/s	Shear stress Pa	Viscosity Pas	Range %
1	24.8	25 2.520E+0	8.065E+1	3.200E+1	1.9
2	25.0	26 3.185E+0	7.669E+1	2.408E+1	1.8
4	25.0	27 4.005E+0	7.963E+1	1.988E+1	1.9
5	25.0	28 5.041E+0	8.023E+1	1.592E+1	1.9
6	25.1	29 6.350E+0	8.261E+1	1.301E+1	2.0
8	25.0	30 8.010E+0	8.498E+1	1.061E+1	2.0
9	25.1	31 1.008E+1	9.051E+1	8.978E+0	2.1
0	25.1	32 1.268E+1	9.422E+1	7.431E+0	2.2
3	25.0	33 1.596E+1	1.043E+2	6.533E+0	2.5
4	25.1	34 2.010E+1	1.095E+2	5.446E+0	2.6
7	25.1	35 2.530E+1	1.176E+2	4.648E+0	2.8
9	25.1	36 3.185E+1	1.312E+2	4.119E+0	3.1
2	25.1	37 4.009E+1	1.444E+2	3.602E+0	3.4
4	25.0	38 5.048E+1	1.556E+2	3.083E+0	3.7
7	25.1	39 6.356E+1	1.675E+2	2.636E+0	4.0
9	25.0	40 8.001E+1	1.824E+2	2.279E+0	4.3
4	24.7	41 1.016E+2	2.010E+2	1.979E+0	4.8
5	24.6	42 1.270E+2	2.180E+2	1.716E+0	5.2
7	24.7	43 1.602E+2	2.360E+2	1.473E+0	5.6
9	24.7	44 2.012E+2	2.562E+2	1.273E+0	6.1
0	24.6	45 2.530E+2	2.788E+2	1.106E+0	6.6
2	24.7	46 3.185E+2	3.033E+2	9.525E-1	7.2
3	24.7	47 4.005E+2	3.302E+2	8.246E-1	7.8
5	24.8	48 5.041E+2	3.619E+2	7.179E-1	8.6
6	24.8	49 6.350E+2	3.960E+2	6.236E-1	9.4
8	24.8	50 8.010E+2	4.371E+2	5.457E-1	10.3
9	24.9	51 1.008E+3	4.847E+2	4.808E-1	11.5
9	24.9	52 1.268E+3	5.369E+2	4.234E-1	12.7
1	24.9	53 1.596E+3	6.001E+2	3.760E-1	14.2
3	24.9	54 2.010E+3	6.715E+2	3.340E-1	15.9
5	24.9	55 2.530E+3	7.553E+2	2.985E-1	17.9



e 1. 2(20)

N VOR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM  
Viscometry test  
1993-07-06 10:46:40

ol mag, testi 1

ring system: CP 1/30

e element: 304.688 g cm

tozero.

ant delay time: 5 s

Sensitivity: 1 x

Integration time: 2 s

rature: Constant

measurements: 1

al equilibrium time: 60 s

Measurement interval: 16 s

e	Temp °C	Shear rate no 1/s	Shear stress Pa	Viscosity Pas	Range %
1	25.4	25 2.520E+0	1.263E+1	5.010E+0	0.3
2	25.4	26 3.185E+0	1.392E+1	4.371E+0	0.3
3	25.4	27 4.005E+0	1.598E+1	3.990E+0	0.4
6	25.5	28 5.041E+0	1.885E+1	3.739E+0	0.4
8	25.5	29 6.350E+0	2.256E+1	3.554E+0	0.5
0	25.4	30 8.010E+0	2.579E+1	3.219E+0	0.6
2	25.4	31 1.008E+1	2.894E+1	2.871E+0	0.7
4	25.4	32 1.268E+1	3.469E+1	2.736E+0	0.8
6	25.3	33 1.596E+1	4.251E+1	2.663E+0	1.0
7	25.4	34 2.010E+1	4.806E+1	2.391E+0	1.1
9	25.3	35 2.530E+1	5.588E+1	2.367E+0	1.4
0	25.3	36 3.185E+1	6.663E+1	2.092E+0	1.6
1	25.2	37 4.009E+1	8.108E+1	2.023E+0	1.9
2	25.2	38 5.048E+1	9.461E+1	1.874E+0	2.2
4	25.2	39 6.356E+1	1.055E+2	1.660E+0	2.5
5	25.0	40 8.001E+1	1.250E+2	1.562E+0	3.0
0	24.7	41 1.016E+2	1.456E+2	1.434E+0	3.4
1	24.7	42 1.270E+2	1.661E+2	1.308E+0	3.9
3	24.6	43 1.602E+2	1.876E+2	1.171E+0	4.4
5	24.7	44 2.012E+2	2.127E+2	1.057E+0	5.0
7	24.6	45 2.520E+2	2.395E+2	9.502E-1	5.7
9	24.6	46 3.185E+2	2.723E+2	8.552E-1	6.4
0	24.7	47 4.005E+2	3.092E+2	7.721E-1	7.3
2	24.7	48 5.041E+2	3.499E+2	6.941E-1	8.3
5	24.7	49 6.350E+2	3.967E+2	6.248E-1	9.4
6	24.7	50 8.010E+2	4.463E+2	5.572E-1	10.6
7	24.7	51 1.008E+3	5.031E+2	4.991E-1	11.9
8	24.8	52 1.268E+3	5.672E+2	4.473E-1	13.4
0	24.8	53 1.596E+3	6.377E+2	3.995E-1	15.1
2	24.8	54 2.010E+3	7.270E+2	3.616E-1	17.2

e 1. 3(20)

N VOR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Viscometry test

1993-10-25 13:03:08

ari AQ6000, viskositeetti ajo 1.

ring system: CP 1/30

e element: 304.688 g cm

tozero.

ant delay time: 5 s

Sensitivity: 1 x

Integration time: 6 s

perature: Constant

measurements: 1

Measurement interval: 16 s

al equilibrium time: 30 s

e	Temp	Shear rate	Shear stress	Viscosity	Range
	°C	no 1/s	Pa	Pas	%
0	25.1	25 2.520E+0	8.755E+1	3.474E+1	2.1
3	25.2	26 3.185E+0	8.676E+1	2.724E+1	2.1
5	25.3	27 4.005E+0	9.243E+1	2.308E+1	2.2
7	25.3	28 5.041E+0	9.919E+1	1.968E+1	2.3
9	25.4	29 6.350E+0	1.078E+2	1.698E+1	2.6
0	25.3	30 8.010E+0	1.176E+2	1.468E+1	2.8
1	25.4	31 1.008E+1	1.262E+2	1.252E+1	3.0
3	25.2	32 1.268E+1	1.379E+2	1.087E+1	3.3
5	25.1	33 1.596E+1	1.492E+2	9.345E+0	3.5
6	25.1	34 2.010E+1	1.607E+2	7.993E+0	3.8
8	25.1	35 2.530E+1	1.658E+2	6.553E+0	3.9
9	25.1	36 3.185E+1	1.709E+2	5.367E+0	4.0
1	25.0	37 4.009E+1	1.795E+2	4.477E+0	4.2
2	25.0	38 5.048E+1	1.879E+2	3.722E+0	4.4
4	24.9	39 6.356E+1	1.940E+2	3.053E+0	4.6
5	25.0	40 8.001E+1	2.017E+2	2.521E+0	4.8
0	24.5	41 1.016E+2	2.103E+2	2.070E+0	5.0
1	24.5	42 1.270E+2	2.193E+2	1.727E+0	5.2
3	24.5	43 1.602E+2	2.282E+2	1.424E+0	5.4
5	24.5	44 2.012E+2	2.409E+2	1.197E+0	5.7
7	24.6	45 2.520E+2	2.535E+2	1.006E+0	6.0
9	24.7	46 3.185E+2	2.687E+2	8.437E-1	6.4
1	24.8	47 4.005E+2	2.864E+2	7.150E-1	6.8
2	24.8	48 5.041E+2	3.090E+2	6.131E-1	7.3
4	24.9	49 6.350E+2	3.333E+2	5.249E-1	7.9
5	24.9	50 8.010E+2	3.622E+2	4.522E-1	8.6
7	24.9	51 1.008E+3	3.948E+2	3.916E-1	9.3
0	24.9	52 1.268E+3	4.307E+2	3.397E-1	10.2
1	25.0	53 1.596E+3	4.727E+2	2.961E-1	11.2
3	25.0	54 2.010E+3	5.206E+2	2.590E-1	12.3
5	25.0	55 2.530E+3	5.724E+2	2.262E-1	13.5



e 1. 4(20)

N VOR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Äri AQ6000V<sub>mag</sub>, mitt.1

Viscometry test

1993-07-07 14:38:21

ring system: CP 1/30

e element: 304.688 g cm

tozero.

Sensitivity: 1 x

ant delay time: 5 s

Integration time: 2 s

perature: Constant

measurements: 1

Measurement interval: 16 s

al equilibrium time: 60 s

	Temp	Shear rate no	Shear stress 1/s	Viscosity Pa	Range Pas	Range %
	°C					
1	25.5	25	2.520E+0	7.037E+1	2.792E+1	1.7
1	25.5	26	3.185E+0	6.761E+1	2.123E+1	1.6
3	25.5	27	4.005E+0	6.945E+1	1.734E+1	1.6
4	25.4	28	5.041E+0	7.431E+1	1.474E+1	1.8
6	25.4	29	6.350E+0	8.210E+1	1.293E+1	1.9
7	25.3	30	8.010E+0	9.072E+1	1.132E+1	2.1
0	25.3	31	1.008E+1	1.009E+2	1.001E+1	2.4
0	25.3	32	1.268E+1	1.098E+2	8.657E+0	2.6
2	25.3	33	1.596E+1	1.163E+2	7.287E+0	2.8
3	25.2	34	2.010E+1	1.317E+2	6.550E+0	3.1
5	25.2	35	2.530E+1	1.494E+2	5.905E+0	3.5
7	25.2	36	3.185E+1	1.663E+2	5.222E+0	3.9
9	25.1	37	4.009E+1	1.747E+2	4.358E+0	4.1
1	25.0	38	5.048E+1	1.831E+2	3.626E+0	4.3
2	25.1	39	6.356E+1	1.938E+2	3.050E+0	4.6
4	25.0	40	8.001E+1	1.981E+2	2.476E+0	4.7
8	24.7	41	1.016E+2	2.097E+2	2.064E+0	5.0
0	24.6	42	1.270E+2	2.184E+2	1.720E+0	5.2
2	24.6	43	1.602E+2	2.264E+2	1.413E+0	5.4
4	24.6	44	2.012E+2	2.341E+2	1.163E+0	5.5
5	24.6	45	2.520E+2	2.436E+2	9.667E-1	5.8
7	24.7	46	3.185E+2	2.530E+2	7.945E-1	6.0
9	24.7	47	4.005E+2	2.624E+2	6.552E-1	6.2
1	24.8	48	5.041E+2	2.755E+2	5.466E-1	6.5
2	24.7	49	6.350E+2	2.917E+2	4.594E-1	6.9
4	24.9	50	8.010E+2	3.114E+2	3.887E-1	7.4
6	24.8	51	1.008E+3	3.344E+2	3.317E-1	7.9
7	24.9	52	1.268E+3	3.635E+2	2.867E-1	8.6
9	24.9	53	1.596E+3	3.979E+2	2.493E-1	9.4
1	24.9	54	2.010E+3	4.357E+2	2.167E-1	10.3
3	24.9	55	2.530E+3	4.788E+2	1.892E-1	11.3

e 1. 5(20)

N VOR Rheometer (TKK/GRA)

gloss, viskositeetti, ajo 1

ring system: CR 1/30

element: 304.688 g cm  
tozero.

ant delay time: 5 s

perature: Constant

measurements: 1

al equilibrium time: 30 s

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Viscometry test

1993-10-25 13:57:11

Sensitivity: 1 x

Integration time: 6 s

Measurement interval: 16 s

	Temp	Shear rate	Shear stress	viscosity	Range
	°C	no 1/s	Pa	Pas	%
1	25.1	25 2.520E+0	1.125E+2	4.463E+1	2.7
3	25.1	26 3.185E+0	1.230E+2	3.862E+1	2.9
4	25.1	27 4.005E+0	1.349E+2	3.369E+1	3.2
4	25.1	28 5.041E+0	1.491E+2	2.958E+1	3.5
6	25.1	29 6.350E+0	1.639E+2	2.582E+1	3.9
8	25.1	30 8.010E+0	1.825E+2	2.278E+1	4.3
9	25.0	31 1.008E+1	2.048E+2	2.031E+1	4.8
1	25.1	32 1.268E+1	2.234E+2	1.761E+1	5.3
2	25.0	33 1.596E+1	2.682E+2	1.680E+1	6.3
4	25.0	34 2.010E+1	2.892E+2	1.433E+1	6.8
5	24.9	35 2.530E+1	3.278E+2	1.296E+1	7.8
6	25.0	36 3.185E+1	3.765E+2	1.182E+1	8.9
8	25.0	37 4.009E+1	4.118E+2	1.027E+1	9.7
9	25.0	38 5.048E+1	4.587E+2	9.086E+0	10.9
0	24.9	39 6.356E+1	5.008E+2	7.880E+0	11.9
1	24.9	40 8.001E+1	5.407E+2	6.759E+0	12.8
6	24.5	41 1.016E+2	6.019E+2	5.925E+0	14.2
7	24.5	42 1.270E+2	6.596E+2	5.194E+0	15.6
9	24.5	43 1.602E+2	7.204E+2	4.497E+0	17.1
0	24.5	44 2.012E+2	7.841E+2	3.896E+0	18.6
1	24.6	45 2.520E+2	8.527E+2	3.383E+0	20.2
3	24.7	46 3.185E+2	9.164E+2	2.878E+0	21.7
5	24.7	47 4.005E+2	9.571E+2	2.390E+0	22.7
8	24.8	48 5.041E+2	9.775E+2	1.939E+0	23.1
0	24.8	49 6.350E+2	1.010E+3	1.591E+0	23.9
2	24.9	50 8.010E+2	1.077E+3	1.345E+0	25.5
4	24.9	51 1.008E+3	1.145E+3	1.135E+0	27.1
7	24.9	52 1.268E+3	1.171E+3	9.237E-1	27.7
9	24.9	53 1.596E+3	1.182E+3	7.408E-1	28.0
1	25.0	54 2.010E+3	1.199E+3	5.962E-1	28.4
3	24.9	55 2.530E+3	1.215E+3	4.801E-1	28.8



e 1. 6(20)

N VOR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

gloss, viskositeetti, ajo 1

Viscometry test

1993-10-25 14:46:40

ring system: CP 1/30

element: 304.688 g cm

tozero.

ant delay time: 5 s

Sensitivity: 1 x

Integration time: 6 s

perature: Constant

measurements: 1

al equilibrium time: 30 s

Measurement interval: 16 s

	Temp °C	Shear rate no 1/s	Shear stress Pa	Viscosity Pas	Range %
1	25.0	25 2.520E+0	1.123E+2	4.456E+1	2.7
3	25.0	26 3.155E+0	1.316E+2	4.131E+1	3.1
5	25.2	27 4.005E+0	1.484E+2	3.706E+1	3.5
7	25.1	28 5.041E+0	1.695E+2	3.363E+1	4.0
9	25.2	29 6.350E+0	1.918E+2	3.021E+1	4.5
0	25.3	30 8.010E+0	2.093E+2	2.600E+1	4.9
2	25.2	31 1.008E+1	2.343E+2	2.324E+1	5.5
4	25.2	32 1.268E+1	2.659E+2	2.097E+1	6.3
6	25.3	33 1.596E+1	2.970E+2	1.861E+1	7.0
7	25.1	34 2.010E+1	3.454E+2	1.718E+1	8.2
9	25.1	35 2.530E+1	4.144E+2	1.638E+1	9.5
4	25.1	36 3.185E+1	4.715E+2	1.480E+1	11.2
5	25.1	37 4.009E+1	5.458E+2	1.361E+1	12.9
7	25.1	38 5.048E+1	6.231E+2	1.234E+1	14.7
9	25.0	39 6.356E+1	7.215E+2	1.135E+1	17.1
1	25.0	40 8.001E+1	8.376E+2	1.047E+1	19.8
6	24.7	41 1.016E+2	9.761E+2	9.608E+0	23.1
7	24.7	42 1.270E+2	1.140E+3	8.979E+0	27.0
9	24.9	43 1.602E+2	1.339E+3	8.356E+0	31.7
1	24.7	44 2.012E+2	1.546E+3	7.681E+0	36.6
3	24.7	45 2.520E+2	1.800E+3	7.144E+0	42.6
5	24.7	46 3.185E+2	2.094E+3	6.576E+0	49.6
7	24.8	47 4.005E+2	2.421E+3	6.045E+0	57.3
9	24.8	48 5.041E+2	2.442E+3	4.845E+0	57.8
1	24.8	49 6.350E+2	2.545E+3	4.008E+0	60.2
3	24.9	50 8.010E+2	2.727E+3	3.404E+0	64.5
4	25.0	51 1.008E+3	2.793E+3	2.771E+0	66.1
6	24.9	52 1.268E+3	2.496E+3	1.968E+0	59.1
8	24.9	53 1.596E+3	2.176E+3	1.363E+0	51.5
0	25.0	54 2.010E+3	1.895E+3	9.427E-1	44.9
2	25.0	55 2.530E+3	1.393E+3	5.507E-1	33.0

e 1. 7(20)

VOR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM  
Viscometry test  
1993-07-13 15:09:10

Aqua-Jet, pun, ajo 1

ring system: CP 1/30

element: 304.688 g cm

tozero.

ant delay time: 5 s

Sensitivity: 1 x

Integration time: 2 s

ature: Constant

measurements: 1

al equilibrium time: 60 s

Measurement interval: 16 s

	Temp	Shear rate	Shear stress	Viscosity	Range
	°C	no 1/s	Pa	Pas	%
1	25.4	25 2.520E+0	4.581E-1	1.817E-1	0.0
2	25.4	26 3.185E+0	1.877E+0	5.894E-1	0.0
4	25.4	27 4.005E+0	3.609E+0	9.011E-1	0.1
7	25.4	28 5.041E+0	5.980E+0	1.186E+0	0.1
8	25.3	29 6.350E+0	9.399E+0	1.480E+0	0.2
9	25.3	30 8.010E+0	1.377E+1	1.719E+0	0.3
1	25.3	31 1.008E+1	1.811E+1	1.796E+0	0.4
3	25.3	32 1.268E+1	2.156E+1	1.700E+0	0.5
4	25.9	33 1.596E+1	2.675E+1	1.676E+0	0.6
6	25.0	34 2.010E+1	3.090E+1	1.537E+0	0.7
8	25.0	35 2.530E+1	3.930E+1	1.553E+0	0.9
9	25.0	36 3.185E+1	4.682E+1	1.470E+0	1.1
1	24.9	37 4.009E+1	5.467E+1	1.364E+0	1.3
2	24.9	38 5.048E+1	6.423E+1	1.272E+0	1.5
4	24.8	39 6.356E+1	7.631E+1	1.201E+0	1.8
6	24.9	40 8.001E+1	9.546E+1	1.193E+0	2.3
0	24.5	41 1.016E+2	1.149E+2	1.131E+0	2.7
2	24.5	42 1.270E+2	1.246E+2	9.812E-1	2.9
4	24.5	43 1.602E+2	1.453E+2	9.072E-1	3.4
6	24.6	44 2.012E+2	1.681E+2	8.352E-1	4.0
7	24.6	45 2.520E+2	1.912E+2	7.588E-1	4.5
9	24.6	46 3.185E+2	2.160E+2	6.783E-1	5.1
1	24.7	47 4.005E+2	2.413E+2	6.025E-1	5.7
3	24.7	48 5.041E+2	2.717E+2	5.390E-1	6.4
4	24.7	49 6.350E+2	3.009E+2	4.739E-1	7.1
6	24.8	50 8.010E+2	3.366E+2	4.202E-1	8.0
7	24.9	51 1.008E+3	3.762E+2	3.732E-1	8.9
8	24.8	52 1.268E+3	4.170E+2	3.289E-1	9.9
0	24.9	53 1.596E+3	4.617E+2	2.892E-1	10.9
2	24.8	54 2.010E+3	5.124E+2	2.549E-1	12.1
4	24.8	55 2.530E+3	5.673E+2	2.242E-1	13.4



K K G R A

aderhold, mag, mitt. 1

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM  
Viscometry test  
1994-01-10 09:36:38

measuring system: CP 1/30  
rque element: 304.688 g cm  
Sensitivity: 1 x  
Integration time: 6 s  
Measurement interval: 16 s  
Thermal equilibrium time: 30 s

Time s	Temp °C	Shear rate no 1/s	Shear stress Pa	Viscosity Pas	Range %
5.0	25.7	25 2.520E+0	1.619E+1	6.422E+0	0.4
16.0	25.9	26 3.185E+0	1.201E+1	3.773E+0	0.3
27.1	25.7	27 4.005E+0	1.081E+1	2.699E+0	0.3
38.1	25.7	28 5.041E+0	7.070E+0	1.403E+0	0.2
49.2	25.6	29 6.350E+0	7.986E+0	1.258E+0	0.2
60.2	25.6	30 8.010E+0	1.531E+1	1.912E+0	0.4
71.2	25.4	31 1.008E+1	2.872E+1	2.849E+0	0.7
82.3	25.4	32 1.268E+1	2.923E+1	2.307E+0	0.7
93.3	25.3	33 1.596E+1	4.217E+1	2.642E+0	1.0
104.4	25.2	34 2.010E+1	4.794E+1	2.380E+0	1.1
115.4	24.9	35 2.530E+1	6.199E+1	2.450E+0	1.5
126.4	24.8	36 3.185E+1	7.934E+1	2.491E+0	1.9
137.5	24.8	37 4.009E+1	9.327E+1	2.327E+0	2.2
148.5	24.8	38 5.048E+1	1.154E+2	2.285E+0	2.7
159.6	24.7	39 6.356E+1	1.402E+2	2.206E+0	3.3
170.6	24.6	40 8.001E+1	1.665E+2	2.081E+0	3.9
182.0	24.1	41 1.016E+2	2.035E+2	2.003E+0	4.8
193.1	24.0	42 1.270E+2	2.423E+2	1.908E+0	5.7
204.2	24.2	43 1.602E+2	2.923E+2	1.825E+0	6.9
215.2	24.3	44 2.012E+2	3.446E+2	1.712E+0	8.2
226.2	24.4	45 2.520E+2	4.142E+2	1.643E+0	9.8
237.3	24.6	46 3.185E+2	4.998E+2	1.569E+0	11.8
248.3	24.7	47 4.005E+2	5.988E+2	1.495E+0	14.2
259.4	24.8	48 5.041E+2	7.251E+2	1.439E+0	17.2
270.4	24.9	49 6.350E+2	8.622E+2	1.358E+0	20.4
281.4	24.9	50 8.010E+2	1.015E+3	1.267E+0	24.0
292.5	24.9	51 1.008E+3	1.187E+3	1.178E+0	28.1
303.5	24.9	52 1.268E+3	1.374E+3	1.084E+0	32.5
314.6	24.8	53 1.596E+3	1.582E+3	9.914E-1	37.5
325.6	24.8	54 2.010E+3	1.805E+3	8.980E-1	42.7
336.6	24.9	55 2.530E+3	2.030E+3	8.021E-1	48.0

Liite 1. 9(20)

K K G R A

Hiederhold WFK, mag, mitt. 1

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM  
Viscometry test  
1994-01-10 10:55:23

measuring system: CP 1/30

torque element: 304.688 g cm

autozero.

constant delay time: 5 s

Sensitivity: 1 x

Integration time: 6 s

temperature: Constant

no of measurements: 1

thermal equilibrium time: 30 s

Measurement interval: 15 s

Time s	Temp °C	Shear rate no 1/s	Shear stress Pa	Viscosity Pas	Range %
5.0	25.0	25 2.520E+0	4.070E+1	1.615E+1	-1.0
16.0	25.0	26 3.155E+0	4.075E+1	1.290E+1	-1.0
27.1	25.1	27 4.005E+0	4.050E+1	1.011E+1	-1.0
38.1	25.1	28 5.041E+0	3.994E+1	7.903E+0	-0.9
49.2	25.0	29 6.350E+0	3.879E+1	6.109E+0	-0.9
60.2	25.0	30 8.010E+0	3.783E+1	4.723E+0	-0.9
71.2	25.0	31 1.005E+1	3.625E+1	3.595E+0	-0.9
82.3	25.1	32 1.268E+1	3.143E+1	2.480E+0	-0.7
93.3	25.0	33 1.596E+1	3.026E+1	1.896E+0	-0.7
104.4	25.1	34 2.010E+1	2.354E+1	1.171E+0	-0.6
115.4	25.0	35 2.530E+1	2.080E+1	8.221E-1	-0.5
126.4	25.1	36 3.185E+1	1.553E+1	4.875E-1	-0.4
137.5	25.0	37 4.009E+1	6.977E+0	1.740E-1	-0.2
148.5	25.0	38 5.048E+1	1.213E+0	2.403E-2	0.0
159.6	25.0	39 6.356E+1	1.128E+1	1.775E-1	0.3
170.6	24.3	40 8.001E+1	2.464E+1	3.079E-1	0.6
182.0	24.0	41 1.016E+2	4.026E+1	3.963E-1	1.0
193.0	24.3	42 1.270E+2	5.777E+1	4.549E-1	1.4
204.1	24.3	43 1.602E+2	7.625E+1	4.884E-1	1.9
215.1	24.6	44 2.012E+2	1.046E+2	5.197E-1	2.5
226.1	24.6	45 2.520E+2	1.339E+2	5.315E-1	3.2
237.2	24.7	46 3.185E+2	1.699E+2	5.336E-1	4.0
248.2	24.8	47 4.005E+2	2.114E+2	5.279E-1	5.0
259.2	24.9	48 5.041E+2	2.604E+2	5.167E-1	6.2
270.3	24.9	49 6.350E+2	3.164E+2	4.983E-1	7.5
281.3	24.9	50 8.010E+2	3.806E+2	4.751E-1	9.0
292.4	25.0	51 1.008E+3	4.527E+2	4.491E-1	10.7
303.4	25.0	52 1.268E+3	5.327E+2	4.201E-1	12.6
314.5	24.9	53 1.596E+3	6.205E+2	3.890E-1	14.7
325.5	24.9	54 2.010E+3	7.144E+2	3.563E-1	17.0
336.5	24.8	55 2.530E+3	8.181E+2	3.234E-1	19.4



Liite 1. 10(20)

BOHLIN VOR Rheometer (TKK/GRA)

Chemical 570-sajia, pun ajo 1

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Viscometry test

1993-09-01 11:13:20

1  
Measuring system: CP 1/30  
Torque element: 304.688 g cm  
autozero.

Sensitivity: 1 x

Instant delay time: 5 s

Integration time: 6 s

Temperature: Constant

Number of measurements: 1

Measurement interval: 16 s

Thermal equilibrium time: 30 s

Time s	Temp °C	Shear rate no 1/s	Shear stress Pa	Viscosity Pas	Range %
5.1	25.3	25 2.520E+0	1.068E+1	4.239E+0	0.3
16.2	25.3	26 3.185E+0	1.349E+1	4.236E+0	0.3
27.2	25.3	27 4.005E+0	1.733E+1	4.326E+0	0.4
38.4	25.3	28 5.041E+0	2.256E+1	4.475E+0	0.5
49.7	25.3	29 6.350E+0	3.013E+1	4.745E+0	0.7
60.8	25.2	30 8.010E+0	4.011E+1	5.007E+0	0.9
72.0	25.2	31 1.008E+1	4.884E+1	4.845E+0	1.2
83.1	25.2	32 1.268E+1	5.942E+1	4.687E+0	1.4
94.3	25.1	33 1.596E+1	7.800E+1	4.887E+0	1.8
105.4	25.0	34 2.010E+1	9.526E+1	4.739E+0	2.3
116.6	25.1	35 2.530E+1	1.184E+2	4.681E+0	2.8
127.8	25.0	36 3.185E+1	1.484E+2	4.661E+0	3.5
139.0	25.0	37 4.009E+1	1.840E+2	4.590E+0	4.4
150.1	25.0	38 5.048E+1	2.292E+2	4.540E+0	5.4
161.3	25.0	39 6.356E+1	2.825E+2	4.445E+0	6.7
172.5	25.0	40 8.001E+1	3.498E+2	4.372E+0	8.3
183.9	24.7	41 1.016E+2	4.367E+2	4.298E+0	10.3
195.2	24.7	42 1.270E+2	5.275E+2	4.154E+0	12.5
206.3	24.7	43 1.602E+2	6.369E+2	3.976E+0	15.1
217.4	24.7	44 2.012E+2	7.559E+2	3.756E+0	17.9
228.7	24.7	45 2.520E+2	9.046E+2	3.589E+0	21.4
239.9	24.7	46 3.185E+2	1.078E+3	3.385E+0	25.5
251.0	24.8	47 4.005E+2	1.283E+3	3.202E+0	30.4
262.2	24.8	48 5.041E+2	1.524E+3	3.024E+0	36.1
273.4	24.9	49 6.350E+2	1.778E+3	2.800E+0	42.1
284.6	25.0	50 8.010E+2	2.094E+3	2.614E+0	49.6
295.8	24.9	51 1.008E+3	2.453E+3	2.433E+0	58.1
307.0	24.9	52 1.268E+3	2.699E+3	2.129E+0	63.9
318.3	24.9	53 1.596E+3	2.798E+3	1.753E+0	66.2
329.5	24.9	54 2.010E+3	2.994E+3	1.489E+0	70.9
340.7	25.0	55 2.530E+3	3.179E+3	1.256E+0	75.2

Liite 1. 11(20)

BOHLIN VOR Rheometer (TKK/GRA)

unCemical 590-sarja, pun ajo 1  
1

measuring system: CP 1/30

torque element: 304.688 g cm

autozero.

constant delay time: 5 s

temperature: Constant

of measurements: 1

thermal equilibrium time: 30 s

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Viscometry test

1993-09-01 11:47:38

Sensitivity: 1 x

Integration time: 6 s

Measurement interval: 16 s

Time s	Temp °C	Shear rate no 1/s	Shear stress Pa	Viscosity Pas	Range %
5.1	25.0	25 2.520E+0	1.621E+1	6.433E+0	0.4
16.3	24.8	26 3.185E+0	2.070E+1	6.499E+0	0.5
27.5	25.1	27 4.005E+0	2.579E+1	6.439E+0	0.6
38.7	25.1	28 5.041E+0	3.265E+1	6.477E+0	0.8
49.9	25.1	29 6.350E+0	4.159E+1	6.549E+0	1.0
61.1	25.3	30 8.010E+0	5.280E+1	6.591E+0	1.2
72.3	25.1	31 1.008E+1	6.310E+1	6.260E+0	1.5
83.4	25.1	32 1.268E+1	7.492E+1	5.909E+0	1.8
94.6	25.2	33 1.596E+1	9.788E+1	6.132E+0	2.3
105.8	25.2	34 2.010E+1	1.163E+2	5.783E+0	2.8
117.0	25.2	35 2.530E+1	1.407E+2	5.562E+0	3.3
128.2	25.1	36 3.185E+1	1.728E+2	5.425E+0	4.1
139.5	25.2	37 4.009E+1	2.091E+2	5.218E+0	4.9
150.7	25.1	38 5.048E+1	2.584E+2	5.119E+0	6.1
162.0	25.1	39 6.356E+1	3.085E+2	4.854E+0	7.3
173.2	25.1	40 8.001E+1	3.704E+2	4.629E+0	8.8
184.7	24.7	41 1.016E+2	4.452E+2	4.382E+0	10.5
195.8	24.7	42 1.270E+2	5.318E+2	4.188E+0	12.6
207.0	24.7	43 1.602E+2	6.259E+2	3.907E+0	14.8
218.1	24.7	44 2.012E+2	7.492E+2	3.723E+0	17.7
229.3	24.7	45 2.520E+2	8.822E+2	3.500E+0	20.9
240.5	24.8	46 3.185E+2	1.041E+3	3.270E+0	24.6
251.6	24.7	47 4.005E+2	1.228E+3	3.067E+0	29.1
262.7	24.8	48 5.041E+2	1.442E+3	2.860E+0	34.1
273.9	24.8	49 6.350E+2	1.689E+3	2.659E+0	40.0
285.1	24.9	50 8.010E+2	1.964E+3	2.452E+0	46.5
296.3	24.9	51 1.008E+3	2.197E+3	2.179E+0	52.0
307.5	24.9	52 1.268E+3	2.454E+3	1.935E+0	58.1
318.6	24.9	53 1.596E+3	2.728E+3	1.709E+0	64.6
329.8	24.9	54 2.010E+3	2.195E+3	1.092E+0	52.0
341.0	24.9	55 2.530E+3	1.543E+3	6.099E-1	36.5



LIN VOR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Oscillation test

1993-07-21 11:22:12

Chem, mag, viskoelastisuus, ajo1

1  
asuring system: CP 1/30

que element: 304.688 g cm

perature: Constant

of measurements: 1

rmal equilibrium time: 60 s

ostrain off

Sensitivity: 1 x Amplitude: 67.3 %

Measurement interval: 16 s

ime	Temp	Freq	Phase	Viscosity'	G*	G'	G''	Range	Ampl	Corr	Strain
s	°C	Hz		Pas	Pa	Pa	Pa	%	%		
2	24.9	.10	56.9	8.70E+1	6.52E+1	3.56E+1	5.47E+1	1.16	66.8	0.00	.75320
13	25.0	.15	56.4	6.18E+1	7.00E+1	3.87E+1	5.83E+1	1.25	66.8	0.00	.75342
22	25.0	.20	55.5	4.76E+1	7.27E+1	4.12E+1	5.99E+1	1.30	66.8	0.00	.75361
28	25.0	.30	55.2	3.44E+1	7.89E+1	4.51E+1	6.48E+1	1.41	66.9	0.00	.75428
33	25.0	.40	54.6	2.69E+1	8.30E+1	4.81E+1	6.76E+1	1.48	67.0	0.00	.75500
37	25.0	.50	54.3	2.24E+1	8.66E+1	5.05E+1	7.04E+1	1.55	67.0	0.00	.75547
41	24.9	.60	54.0	1.93E+1	8.99E+1	5.29E+1	7.28E+1	1.61	67.1	0.00	.75611
44	25.0	.70	53.8	1.70E+1	9.28E+1	5.48E+1	7.48E+1	1.66	67.1	0.00	.75665
47	25.0	.80	53.7	1.53E+1	9.54E+1	5.65E+1	7.69E+1	1.71	67.2	0.00	.75736
51	25.0	.90	53.5	1.39E+1	9.77E+1	5.82E+1	7.85E+1	1.75	67.2	0.00	.75779
54	25.0	1.00	53.3	1.28E+1	1.00E+2	5.99E+1	8.03E+1	1.80	67.3	0.00	.75847
57	24.9	1.50	52.7	9.19E+0	1.09E+2	6.60E+1	8.66E+1	1.96	67.5	0.00	.76094
61	25.0	2.00	52.5	7.30E+0	1.16E+2	7.05E+1	9.18E+1	2.09	67.7	0.00	.76311
64	25.0	3.00	52.1	5.29E+0	1.26E+2	7.77E+1	9.96E+1	2.29	68.0	0.00	.76640
67	25.1	4.00	52.1	4.24E+0	1.35E+2	8.28E+1	1.06E+2	2.45	68.3	0.00	.76903
71	25.1	5.00	52.2	3.57E+0	1.42E+2	8.71E+1	1.12E+2	2.60	68.5	0.00	.77194
74	25.1	6.00	52.2	3.11E+0	1.48E+2	9.09E+1	1.17E+2	2.72	68.7	0.00	.77337
78	25.0	7.00	52.2	2.76E+0	1.54E+2	9.40E+1	1.21E+2	2.82	68.8	0.00	.77447
81	25.0	8.00	52.5	2.51E+0	1.59E+2	9.68E+1	1.26E+2	2.93	69.0	0.00	.77674
84	25.0	9.00	52.6	2.31E+0	1.64E+2	9.99E+1	1.31E+2	3.03	69.1	0.00	.77823
88	25.1	10.0	52.6	2.13E+0	1.69E+2	1.02E+2	1.34E+2	3.12	69.2	0.00	.77926
91	25.1	15.0	54.4	1.62E+0	1.87E+2	1.09E+2	1.52E+2	3.52	70.4	0.00	.79202
94	25.1	20.0	55.0	1.32E+0	2.03E+2	1.17E+2	1.66E+2	3.97	73.0	0.00	.82160
98	25.0	15.0	54.4	1.61E+0	1.86E+2	1.09E+2	1.52E+2	3.51	70.4	0.00	.79229
101	25.0	10.0	52.4	2.12E+0	1.68E+2	1.03E+2	1.33E+2	3.11	69.2	0.00	.77925
105	25.1	9.00	52.3	2.30E+0	1.65E+2	1.01E+2	1.30E+2	3.03	69.1	0.00	.77750
108	25.0	8.00	52.0	2.50E+0	1.60E+2	9.84E+1	1.26E+2	2.94	69.0	0.00	.77689
111	25.1	7.00	51.6	2.76E+0	1.55E+2	9.63E+1	1.21E+2	2.84	68.8	0.00	.77425
114	25.0	6.00	51.3	3.11E+0	1.50E+2	9.39E+1	1.17E+2	2.75	68.8	0.00	.77426
118	25.0	5.00	51.2	3.58E+0	1.44E+2	9.05E+1	1.13E+2	2.64	68.6	0.00	.77212
121	25.1	4.00	50.9	4.25E+0	1.37E+2	8.66E+1	1.07E+2	2.50	68.3	0.00	.76915
124	25.0	3.00	50.8	5.33E+0	1.30E+2	8.19E+1	1.01E+2	2.36	68.1	0.00	.76751
127	24.9	2.00	50.9	7.39E+0	1.20E+2	7.54E+1	9.28E+1	2.16	67.8	0.00	.76336
131	24.9	1.50	51.2	9.38E+0	1.14E+2	7.12E+1	8.84E+1	2.04	67.6	0.00	.76127
134	25.0	1.00	51.4	1.31E+1	1.05E+2	6.54E+1	8.20E+1	1.88	67.3	0.00	.75843
137	24.9	.90	51.3	1.43E+1	1.03E+2	6.45E+1	8.06E+1	1.85	67.3	0.00	.75788
141	25.0	.80	51.5	1.58E+1	1.01E+2	6.31E+1	7.93E+1	1.82	67.2	0.00	.75726
144	24.9	.70	51.5	1.77E+1	9.92E+1	6.18E+1	7.77E+1	1.78	67.1	0.00	.75663
147	24.9	.60	51.6	2.01E+1	9.68E+1	6.01E+1	7.58E+1	1.73	67.1	0.00	.75596
150	24.9	.50	51.6	2.35E+1	9.40E+1	5.84E+1	7.37E+1	1.68	67.0	0.00	.75544
154	24.9	.40	51.8	2.83E+1	9.06E+1	5.61E+1	7.12E+1	1.62	67.0	0.00	.75477
158	24.8	.30	51.8	3.61E+1	8.67E+1	5.36E+1	6.81E+1	1.55	66.9	0.00	.75418
163	24.9	.20	52.0	5.13E+1	8.18E+1	5.04E+1	6.44E+1	1.46	66.8	0.00	.75346
170	24.8	.15	52.1	6.57E+1	7.84E+1	4.81E+1	6.19E+1	1.40	66.8	0.00	.75322
178	24.8	.10	52.6	9.49E+1	7.51E+1	4.56E+1	5.96E+1	1.34	66.8	0.00	.75296



BOHLIN VOR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Pencil, mag, viskoelast, ajo 1

Oscillation test

1993-07-21 11:32:41

Measuring system: CP 1/30

Torque element: 304.688 g cm

Temperature: Constant

Number of measurements: 1

Thermal equilibrium time: 60 s

No strain off

Sensitivity: 1 x Amplitude: 67.3 %

Measurement interval: 16 s

Time s	Temp °C	Freq Hz	Phase	Viscosity* Pas	G' Pa	G'' Pa	G''' Pa	Range %	Ampl %	Corr	Strain
2	24.9	.10	59.9	2.45E+1	1.78E+1	8.92E+0	1.54E+1	0.32	66.8	0.00	.75372
13	24.9	.15	60.2	1.64E+1	1.78E+1	8.84E+0	1.54E+1	0.32	66.8	0.00	.75404
21	24.9	.20	60.2	1.26E+1	1.83E+1	9.08E+0	1.59E+1	0.33	66.8	0.00	.75428
28	24.9	.30	60.7	9.48E+0	2.05E+1	1.00E+1	1.79E+1	0.37	66.9	0.00	.75500
33	24.9	.40	61.0	7.72E+0	2.22E+1	1.08E+1	1.94E+1	0.40	67.0	0.00	.75574
37	24.8	.50	61.4	6.60E+0	2.36E+1	1.13E+1	2.07E+1	0.42	67.0	0.00	.75626
41	24.9	.60	61.4	5.82E+0	2.50E+1	1.20E+1	2.19E+1	0.45	67.1	0.00	.75688
44	25.0	.70	61.6	5.24E+0	2.62E+1	1.25E+1	2.30E+1	0.47	67.1	0.00	.75760
47	25.1	.80	62.0	4.78E+0	2.72E+1	1.28E+1	2.40E+1	0.49	67.2	0.00	.75811
51	25.0	.90	62.2	4.43E+0	2.83E+1	1.32E+1	2.51E+1	0.51	67.2	0.00	.75869
54	25.1	1.00	62.3	4.12E+0	2.92E+1	1.36E+1	2.59E+1	0.52	67.3	0.00	.75938
57	25.0	1.50	62.8	3.26E+0	3.45E+1	1.58E+1	3.07E+1	0.62	67.5	0.00	.76218
61	25.0	2.00	63.2	2.75E+0	3.87E+1	1.75E+1	3.45E+1	0.70	67.7	0.00	.76433
64	25.1	3.00	64.1	2.20E+0	4.61E+1	2.01E+1	4.15E+1	0.84	68.0	0.00	.76745
68	25.1	4.00	64.9	1.89E+0	5.24E+1	2.22E+1	4.74E+1	0.96	68.3	0.00	.77028
71	25.0	5.00	65.6	1.68E+0	5.80E+1	2.40E+1	5.29E+1	1.06	68.5	0.00	.77317
75	25.0	6.00	65.9	1.53E+0	6.32E+1	2.58E+1	5.77E+1	1.16	68.7	0.00	.77514
78	25.0	7.00	66.6	1.41E+0	6.78E+1	2.70E+1	6.22E+1	1.25	68.8	0.00	.77630
82	25.1	8.00	67.0	1.33E+0	7.26E+1	2.84E+1	6.68E+1	1.34	69.0	0.00	.77836
85	25.1	9.00	67.3	1.26E+0	7.73E+1	2.99E+1	7.13E+1	1.43	69.1	0.00	.77934
89	25.1	10.0	67.4	1.19E+0	8.11E+1	3.11E+1	7.49E+1	1.50	69.3	0.00	.78122
92	25.1	15.0	68.8	1.01E+0	1.02E+2	3.69E+1	9.52E+1	1.92	70.4	0.00	.79400
95	25.0	20.0	68.9	9.03E-1	1.22E+2	4.38E+1	1.13E+2	2.38	73.1	0.00	.82423
99	25.1	15.0	69.1	9.91E-1	1.00E+2	3.56E+1	9.34E+1	1.89	70.4	0.00	.79436
103	25.1	10.0	67.9	1.16E+0	7.85E+1	2.95E+1	7.27E+1	1.45	69.3	0.00	.78141
106	25.0	9.00	67.8	1.21E+0	7.41E+1	2.80E+1	6.87E+1	1.37	69.0	0.00	.77883
109	25.1	8.00	67.5	1.27E+0	6.90E+1	2.64E+1	6.38E+1	1.27	69.0	0.00	.77859
113	25.0	7.00	67.2	1.34E+0	6.39E+1	2.48E+1	5.89E+1	1.18	68.8	0.00	.77638
116	25.0	6.00	66.7	1.44E+0	5.91E+1	2.34E+1	5.43E+1	1.09	68.7	0.00	.77552
119	25.1	5.00	66.4	1.56E+0	5.36E+1	2.14E+1	4.91E+1	0.98	68.6	0.00	.77348
122	25.1	4.00	65.9	1.73E+0	4.77E+1	1.95E+1	4.35E+1	0.87	68.3	0.00	.77041
125	25.1	3.00	65.1	1.98E+0	4.12E+1	1.74E+1	3.74E+1	0.75	68.1	0.00	.76804
129	25.1	2.00	64.2	2.45E+0	3.42E+1	1.49E+1	3.08E+1	0.62	67.8	0.00	.76463
132	25.1	1.50	63.7	2.88E+0	3.03E+1	1.34E+1	2.71E+1	0.55	67.6	0.00	.76255
136	25.0	1.00	63.1	3.61E+0	2.54E+1	1.15E+1	2.27E+1	0.46	67.3	0.00	.75968
139	25.0	.90	62.9	3.85E+0	2.45E+1	1.11E+1	2.18E+1	0.44	67.2	0.00	.75878
142	25.0	.80	62.6	4.11E+0	2.33E+1	1.07E+1	2.07E+1	0.42	67.2	0.00	.75853
145	25.0	.70	62.2	4.48E+0	2.22E+1	1.04E+1	1.97E+1	0.40	67.1	0.00	.75775
149	25.0	.60	62.0	4.94E+0	2.11E+1	9.89E+0	1.86E+1	0.38	67.1	0.00	.75698
152	24.9	.50	61.8	5.55E+0	1.98E+1	9.34E+0	1.74E+1	0.35	67.0	0.00	.75630
155	24.9	.40	61.5	6.40E+0	1.83E+1	8.73E+0	1.61E+1	0.33	67.0	0.00	.75565
159	24.9	.30	60.4	7.64E+0	1.65E+1	8.16E+0	1.43E+1	0.29	66.9	0.00	.75506
164	24.9	.20	60.5	1.04E+1	1.51E+1	7.42E+0	1.31E+1	0.27	66.8	0.00	.75442
171	24.9	.15	59.4	1.27E+1	1.39E+1	7.06E+0	1.20E+1	0.25	66.8	0.00	.75409
179	25.0	.10	56.9	1.64E+1	1.23E+1	6.74E+0	1.03E+1	0.22	66.8	0.00	.75369



riväri AQ6000, viskoelastisuus, ajo 1

1

asuring system: CP 1/30

rque element: 304.688 g cm

emperature: Constant

of measurements: 1

ermal equilibrium time: 30 s

toststrain off

Sensitivity: 1 x Amplitude: 67.3 %

Measurement interval: 1 s

Time s	Temp °C	Freq Hz	Phase	Viscosity <sup>a</sup> Pas	G* Pa	G' Pa	G'' Pa	Range %	Ampl %	Corr	Strain
2	24.9	.10	68.2	1.05E+2	7.10E+1	2.63E+1	6.60E+1	1.23	65.1	0.00	.73461
13	25.0	.15	69.0	7.05E+1	7.12E+1	2.55E+1	6.65E+1	1.24	65.2	0.00	.73492
22	24.9	.20	68.3	5.50E+1	7.44E+1	2.75E+1	6.91E+1	1.29	65.2	0.00	.73513
28	25.0	.30	67.3	4.12E+1	8.41E+1	3.24E+1	7.76E+1	1.46	65.2	0.00	.73563
33	25.0	.40	66.4	3.38E+1	9.28E+1	3.72E+1	8.50E+1	1.62	65.3	0.00	.73627
37	25.0	.50	65.2	2.92E+1	1.01E+2	4.23E+1	9.16E+1	1.76	65.3	0.00	.73667
41	25.0	.60	64.1	2.58E+1	1.08E+2	4.73E+1	9.73E+1	1.89	65.4	0.00	.73720
44	25.0	.70	62.9	2.32E+1	1.15E+2	5.24E+1	1.02E+2	2.01	65.4	0.00	.73765
47	25.0	.80	61.9	2.12E+1	1.21E+2	5.69E+1	1.06E+2	2.11	65.5	0.00	.73833
51	25.0	.90	60.8	1.95E+1	1.26E+2	6.15E+1	1.10E+2	2.21	65.6	0.00	.73870
54	25.1	1.00	59.6	1.80E+1	1.31E+2	6.62E+1	1.13E+2	2.29	65.6	0.00	.73910
57	24.9	1.50	55.9	1.33E+1	1.51E+2	8.48E+1	1.25E+2	2.65	65.8	0.00	.74133
61	25.1	2.00	53.2	1.04E+1	1.63E+2	9.79E+1	1.31E+2	2.87	66.0	0.00	.7431
64	25.0	3.00	49.9	7.25E+0	1.79E+2	1.15E+2	1.37E+2	3.16	66.3	0.00	.7464
68	25.1	4.00	48.2	5.52E+0	1.86E+2	1.24E+2	1.39E+2	3.30	66.6	0.00	.7489
71	25.0	5.00	47.1	4.45E+0	1.91E+2	1.30E+2	1.40E+2	3.39	66.8	0.00	.7513
74	25.1	6.00	46.5	3.73E+0	1.94E+2	1.33E+2	1.41E+2	3.46	66.9	0.00	.7529
78	25.1	7.00	46.3	3.22E+0	1.96E+2	1.36E+2	1.42E+2	3.51	67.1	0.00	.7550
81	25.0	8.00	46.1	2.85E+0	1.99E+2	1.38E+2	1.43E+2	3.56	67.2	0.00	.7558
85	25.1	9.00	45.9	2.58E+0	2.02E+2	1.40E+2	1.45E+2	3.62	67.5	0.00	.7588
88	25.1	10.0	46.0	2.32E+0	2.03E+2	1.41E+2	1.46E+2	3.65	67.5	0.00	.7585
91	25.1	15.0	46.2	1.68E+0	2.20E+2	1.52E+2	1.58E+2	4.03	68.7	0.00	.7725
94	25.1	20.0	46.0	1.33E+0	2.32E+2	1.61E+2	1.67E+2	4.40	71.1	0.00	.7992
98	25.1	15.0	46.6	1.64E+0	2.13E+2	1.46E+2	1.55E+2	3.90	68.8	0.00	.7732
101	25.0	10.0	46.4	2.23E+0	1.94E+2	1.34E+2	1.40E+2	3.48	67.5	0.00	.7588
104	25.0	9.00	46.2	2.42E+0	1.89E+2	1.31E+2	1.37E+2	3.40	67.5	0.00	.7590
108	25.1	8.00	46.5	2.65E+0	1.83E+2	1.26E+2	1.33E+2	3.29	67.2	0.00	.7563
111	25.0	7.00	46.6	2.94E+0	1.78E+2	1.22E+2	1.29E+2	3.19	67.2	0.00	.7557
114	25.0	6.00	46.9	3.35E+0	1.73E+2	1.18E+2	1.26E+2	3.08	66.9	0.00	.7530
117	25.0	5.00	47.4	3.91E+0	1.67E+2	1.13E+2	1.23E+2	2.97	66.8	0.00	.7522
121	25.0	4.00	48.3	4.72E+0	1.59E+2	1.06E+2	1.19E+2	2.82	66.6	0.00	.7491
124	25.0	3.00	49.6	6.03E+0	1.49E+2	9.67E+1	1.14E+2	2.64	66.3	0.00	.7468
127	25.0	2.00	52.0	8.54E+0	1.36E+2	8.40E+1	1.07E+2	2.40	66.0	0.00	.7438
130	24.9	1.50	53.7	1.09E+1	1.27E+2	7.53E+1	1.02E+2	2.23	65.8	0.00	.7415
134	25.0	1.00	56.2	1.51E+1	1.14E+2	6.35E+1	9.48E+1	2.00	65.6	0.00	.7393
137	25.0	.90	56.7	1.64E+1	1.11E+2	6.07E+1	9.25E+1	1.94	65.5	0.00	.7386
141	25.0	.80	57.1	1.79E+1	1.07E+2	5.81E+1	8.99E+1	1.87	65.5	0.00	.7383
144	24.9	.70	57.8	1.97E+1	1.02E+2	5.44E+1	8.65E+1	1.78	65.4	0.00	.7376
147	25.0	.60	58.6	2.21E+1	9.75E+1	5.08E+1	8.33E+1	1.70	65.4	0.00	.7371
150	24.9	.50	59.2	2.51E+1	9.18E+1	4.70E+1	7.89E+1	1.60	65.3	0.00	.7366
154	25.0	.40	60.1	2.95E+1	8.55E+1	4.27E+1	7.41E+1	1.49	65.3	0.00	.7360
158	24.9	.30	60.8	3.63E+1	7.84E+1	3.82E+1	6.85E+1	1.37	65.2	0.00	.7355
163	24.9	.20	61.5	4.90E+1	7.01E+1	3.35E+1	6.16E+1	1.22	65.2	0.00	.7351
169	24.9	.15	61.8	6.13E+1	6.36E+1	3.10E+1	5.78E+1	1.14	65.1	0.00	.7348
178	24.9	.10	62.1	8.50E+1	6.04E+1	2.83E+1	5.34E+1	1.05	65.1	0.00	.7344



BOHLIN VOR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Prooviväri AQ6000 vinyl, mag, viskoelast, ajel

Oscillation test

1993-07-21 12:41:38

Measuring system: CP 1/30

Torque element: 304.688 g cm

Temperature: Constant

Number of measurements: 1

Thermal equilibrium time: 60 s

Autostrain off

Sensitivity: 1 x Amplitude: 67.3 %

Measurement interval: 16 s

Time s	Temp °C	Freq Hz	Phase	Viscosity* Pas	G* Pa	G' Pa	G'' Pa	Range %	Ampl %	Corr	Strain
2	25.7	.10	59.8	1.04E+2	7.55E+1	3.79E+1	6.53E+1	1.35	66.8	0.00	.75320
13	25.7	.15	60.2	6.66E+1	7.23E+1	3.59E+1	6.28E+1	1.29	66.8	0.00	.75345
22	25.4	.20	59.7	4.89E+1	7.12E+1	3.59E+1	6.15E+1	1.27	66.9	0.00	.75388
28	25.4	.30	59.7	3.47E+1	7.57E+1	3.82E+1	6.53E+1	1.35	66.9	0.00	.75446
33	25.2	.40	59.3	2.71E+1	7.91E+1	4.04E+1	6.80E+1	1.41	67.0	0.00	.75505
37	25.3	.50	58.9	2.25E+1	8.24E+1	4.25E+1	7.06E+1	1.47	67.0	0.00	.75584
41	25.2	.60	58.7	1.93E+1	8.49E+1	4.41E+1	7.26E+1	1.52	67.1	0.00	.75636
44	25.3	.70	58.4	1.68E+1	8.70E+1	4.55E+1	7.41E+1	1.56	67.1	0.00	.75702
47	24.9	.80	58.5	1.51E+1	8.89E+1	4.65E+1	7.58E+1	1.59	67.2	0.00	.75766
51	24.8	.90	58.4	1.36E+1	9.02E+1	4.73E+1	7.68E+1	1.62	67.3	0.00	.75819
54	25.1	1.00	58.2	1.24E+1	9.19E+1	4.84E+1	7.81E+1	1.65	67.3	0.00	.75883
57	24.9	1.50	57.0	9.48E+0	1.07E+2	5.81E+1	8.94E+1	1.92	67.6	0.00	.76155
61	24.7	2.00	55.4	7.76E+0	1.18E+2	6.73E+1	9.75E+1	2.14	67.8	0.00	.76371
64	24.6	3.00	53.0	5.79E+0	1.37E+2	8.21E+1	1.09E+2	2.48	68.1	0.00	.76722
68	24.7	4.00	51.1	4.56E+0	1.47E+2	9.25E+1	1.15E+2	2.68	68.3	0.00	.76922
71	24.6	5.00	49.8	3.76E+0	1.55E+2	9.97E+1	1.18E+2	2.83	68.6	0.00	.77222
75	24.7	6.00	49.8	3.19E+0	1.60E+2	1.05E+2	1.20E+2	2.93	68.7	0.00	.77366
78	24.6	7.00	48.1	2.76E+0	1.63E+2	1.09E+2	1.21E+2	2.99	68.9	0.00	.77511
81	24.7	8.00	47.7	2.44E+0	1.66E+2	1.11E+2	1.23E+2	3.05	69.1	0.00	.77711
85	24.6	9.00	47.3	2.19E+0	1.68E+2	1.14E+2	1.24E+2	3.10	69.1	0.00	.7775
88	24.6	10.0	46.9	1.98E+0	1.70E+2	1.16E+2	1.24E+2	3.14	69.3	0.00	.7801
91	24.6	15.0	47.3	1.43E+0	1.83E+2	1.24E+2	1.34E+2	3.44	70.4	0.00	.7922
95	24.7	20.0	47.2	1.13E+0	1.93E+2	1.31E+2	1.42E+2	3.78	73.2	0.00	.8237
98	24.6	15.0	47.4	1.36E+0	1.75E+2	1.15E+2	1.29E+2	3.28	70.4	0.00	.7919
102	24.7	10.0	46.7	1.84E+0	1.59E+2	1.09E+2	1.16E+2	2.93	69.2	0.00	.7791
105	24.6	9.00	46.9	2.00E+0	1.55E+2	1.06E+2	1.13E+2	2.85	69.1	0.00	.7774
108	24.7	8.00	47.0	2.19E+0	1.51E+2	1.03E+2	1.10E+2	2.77	69.1	0.00	.7773
111	24.6	7.00	47.0	2.43E+0	1.46E+2	9.96E+1	1.07E+2	2.68	68.9	0.00	.7754
115	24.7	6.00	47.5	2.77E+0	1.42E+2	9.59E+1	1.04E+2	2.60	68.8	0.00	.7743
118	24.7	5.00	48.1	3.23E+0	1.36E+2	9.09E+1	1.01E+2	2.49	68.6	0.00	.7725
121	24.7	4.00	48.9	3.88E+0	1.30E+2	8.52E+1	9.76E+1	2.36	68.3	0.00	.7697
124	24.8	3.00	50.2	4.92E+0	1.21E+2	7.74E+1	9.27E+1	2.19	68.1	0.00	.7676
128	24.7	2.00	52.1	6.80E+0	1.08E+2	6.66E+1	8.55E+1	1.96	67.8	0.00	.7640
131	24.7	1.50	53.4	8.48E+0	9.95E+1	5.93E+1	8.00E+1	1.79	67.6	0.00	.7616
134	24.7	1.00	54.8	1.13E+1	8.70E+1	5.01E+1	7.11E+1	1.56	67.3	0.00	.7590
138	24.7	.90	54.9	1.20E+1	8.32E+1	4.78E+1	6.81E+1	1.49	67.3	0.00	.7588
141	24.8	.80	55.4	1.30E+1	7.95E+1	4.52E+1	6.54E+1	1.43	67.2	0.00	.7576
144	24.8	.70	55.5	1.42E+1	7.56E+1	4.28E+1	6.23E+1	1.35	67.2	0.00	.7571
147	24.7	.60	55.7	1.56E+1	7.13E+1	4.02E+1	5.89E+1	1.28	67.1	0.00	.7564
151	24.8	.50	55.8	1.77E+1	6.71E+1	3.77E+1	5.55E+1	1.20	67.0	0.00	.7559
154	24.9	.40	55.9	2.07E+1	6.27E+1	3.51E+1	5.19E+1	1.12	67.0	0.00	.7552
158	24.8	.30	55.6	2.53E+1	5.78E+1	3.26E+1	4.77E+1	1.03	66.9	0.00	.7546
163	24.8	.20	55.4	3.46E+1	5.28E+1	3.00E+1	4.35E+1	0.94	66.8	0.00	.7539
170	24.9	.15	54.8	4.29E+1	4.95E+1	2.86E+1	4.05E+1	0.88	66.8	0.00	.7537
178	25.0	.10	54.0	6.01E+1	4.66E+1	2.74E+1	3.77E+1	0.83	66.8	0.00	.7533



BOHLIN VOR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

aguagloss, viskoelastisuus, ajo 1

Oscillation test

1993-10-26 12:01:09

measuring system: CP 1/30

torque element: 304.688 g cm

temperature: Constant

number of measurements: 1

thermal equilibrium time: 30 s

autostrain off

Sensitivity: 1 x Amplitude: 67.3 %

Measurement interval: 1 s

Time s	Temp °C	Freq Hz	Phase	Viscosity* Pas	G* Pa	G' Pa	G'' Pa	Range %	Ampl %	Corr	Strain
2	24.9	.10	67.0	1.18E+2	8.03E+1	3.14E+1	7.39E+1	1.40	65.1	0.00	.7345
13	25.0	.15	65.7	8.86E+1	9.16E+1	3.77E+1	8.35E+1	1.59	65.1	0.00	.7346
22	24.9	.20	65.2	7.34E+1	1.02E+2	4.26E+1	9.23E+1	1.77	65.2	0.00	.7349
28	24.9	.30	64.6	5.71E+1	1.19E+2	5.10E+1	1.08E+2	2.07	65.2	0.00	.7352
33	25.0	.40	64.3	4.78E+1	1.33E+2	5.78E+1	1.20E+2	2.32	65.3	0.00	.7357
37	25.0	.50	64.0	4.15E+1	1.45E+2	6.37E+1	1.30E+2	2.53	65.3	0.00	.7362
41	25.0	.60	63.6	3.69E+1	1.55E+2	6.91E+1	1.39E+2	2.71	65.4	0.00	.7367
44	25.0	.70	63.4	3.35E+1	1.65E+2	7.39E+1	1.47E+2	2.88	65.4	0.00	.7373
47	25.0	.80	63.1	3.07E+1	1.73E+2	7.83E+1	1.54E+2	3.02	65.5	0.00	.7379
51	25.0	.90	62.9	2.85E+1	1.81E+2	8.24E+1	1.61E+2	3.16	65.6	0.00	.7382
54	25.1	1.00	62.6	2.66E+1	1.89E+2	8.64E+1	1.67E+2	3.29	65.6	0.00	.7387
57	25.0	1.50	62.0	2.04E+1	2.17E+2	1.02E+2	1.92E+2	3.81	65.8	0.00	.7409
61	25.0	2.00	61.5	1.67E+1	2.38E+2	1.14E+2	2.09E+2	4.19	66.0	0.00	.7426
64	25.0	3.00	60.9	1.27E+1	2.74E+2	1.33E+2	2.40E+2	4.84	66.3	0.00	.7452
68	24.9	4.00	60.7	1.04E+1	3.05E+2	1.47E+2	2.62E+2	5.32	66.6	0.00	.7482
72	24.9	5.00	60.4	8.89E+0	3.21E+2	1.58E+2	2.79E+2	5.71	66.8	0.00	.7508
75	25.0	6.00	60.4	7.81E+0	3.35E+2	1.67E+2	2.94E+2	6.03	67.0	0.00	.7529
78	25.1	7.00	60.3	6.94E+0	3.51E+2	1.73E+2	3.05E+2	6.26	67.1	0.00	.7541
82	25.0	8.00	60.3	6.38E+0	3.65E+2	1.81E+2	3.21E+2	6.58	67.2	0.00	.7547
85	25.0	9.00	60.5	5.93E+0	3.88E+2	1.90E+2	3.35E+2	6.91	67.4	0.01	.7572
88	25.1	10.0	60.6	5.51E+0	3.97E+2	1.95E+2	3.46E+2	7.13	67.5	0.01	.7577
92	25.0	15.0	61.1	4.34E+0	4.67E+2	2.25E+2	4.09E+2	8.54	68.7	0.01	.7705
95	25.0	20.0	60.9	3.64E+0	5.24E+2	2.55E+2	4.58E+2	9.93	71.0	0.01	.7962
99	25.0	15.0	61.3	4.25E+0	4.57E+2	2.19E+2	4.01E+2	8.36	68.7	0.01	.7709
103	25.0	10.0	60.7	5.37E+0	3.97E+2	1.89E+2	3.37E+2	6.94	67.5	0.01	.7578
106	25.0	9.00	60.5	5.77E+0	3.78E+2	1.84E+2	3.26E+2	6.73	67.4	0.01	.7570
109	25.0	8.00	60.5	6.22E+0	3.59E+2	1.77E+2	3.13E+2	6.42	67.2	0.00	.7545
112	25.1	7.00	60.4	6.79E+0	3.44E+2	1.70E+2	2.99E+2	6.14	67.1	0.00	.7544
116	25.0	6.00	60.1	7.55E+0	3.28E+2	1.63E+2	2.85E+2	5.86	67.1	0.00	.7537
119	25.0	5.00	60.2	8.57E+0	3.10E+2	1.54E+2	2.69E+2	5.52	66.8	0.00	.7511
122	25.0	4.00	60.3	1.00E+1	2.90E+2	1.44E+2	2.52E+2	5.14	66.6	0.00	.7484
125	25.0	3.00	60.4	1.23E+1	2.66E+2	1.31E+2	2.31E+2	4.69	66.3	0.00	.7459
129	25.0	2.00	60.7	1.64E+1	2.36E+2	1.16E+2	2.06E+2	4.15	66.0	0.00	.7429
132	24.7	1.50	61.1	2.03E+1	2.18E+2	1.06E+2	1.91E+2	3.83	65.8	0.00	.7410
135	25.0	1.00	61.6	2.70E+1	1.93E+2	9.15E+1	1.69E+2	3.37	65.6	0.00	.7385
139	25.0	.90	61.7	2.94E+1	1.89E+2	8.94E+1	1.66E+2	3.30	65.6	0.00	.7381
142	25.0	.80	61.8	3.22E+1	1.84E+2	8.67E+1	1.62E+2	3.21	65.5	0.00	.7375
145	25.0	.70	61.9	3.57E+1	1.78E+2	8.37E+1	1.57E+2	3.10	65.4	0.00	.7370
148	25.0	.60	62.1	4.01E+1	1.71E+2	7.99E+1	1.51E+2	2.98	65.4	0.00	.7365
152	24.9	.50	62.2	4.57E+1	1.62E+2	7.56E+1	1.44E+2	2.83	65.3	0.00	.7359
155	24.9	.40	62.5	5.37E+1	1.52E+2	7.05E+1	1.35E+2	2.65	65.3	0.00	.7355
159	24.9	.30	62.9	6.61E+1	1.40E+2	6.37E+1	1.25E+2	2.43	65.2	0.00	.7350
164	25.0	.20	63.0	8.80E+1	1.24E+2	5.63E+1	1.11E+2	2.16	65.2	0.00	.7345
171	24.9	.15	63.1	1.08E+2	1.15E+2	5.19E+1	1.02E+2	1.99	65.2	0.00	.7344
179	24.9	.10	63.7	1.44E+2	1.06E+2	4.63E+1	9.35E+1	1.82	65.1	0.00	.7342



HLIN VDR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Oscillation test

bragloss, viskoelastisuus, ajo 1

1993-10-26 12:53:02

1

asuring system: CP 1/30

rque element: 304.688 g cm

Sensitivity: 1 x Amplitude: 67.3 %

mperature: Constant

of measurements: 1

Measurement interval: 1 s

ermal equilibrium time: 30 s

tostrain off

Time s	Temp °C	Freq Hz	Phase	Viscosity <sup>2</sup> Pas	G* Pa	G' Pa	G'' Pa	Range %	Ampl %	Corr	Strain
2	24.9	.10	61.6	1.37E+2	9.81E+1	4.67E+1	8.63E+1	1.71	65.1	0.00	.73422
13	24.8	.15	62.2	9.71E+1	1.03E+2	4.82E+1	9.15E+1	1.80	65.2	0.00	.73448
21	24.9	.20	62.4	7.52E+1	1.07E+2	4.94E+1	9.45E+1	1.85	65.2	0.00	.73484
28	24.9	.30	63.6	5.59E+1	1.18E+2	5.23E+1	1.05E+2	2.05	65.2	0.00	.73532
33	24.9	.40	64.4	4.58E+1	1.28E+2	5.51E+1	1.15E+2	2.22	65.3	0.00	.73586
37	24.9	.50	65.2	3.95E+1	1.37E+2	5.72E+1	1.24E+2	2.38	65.3	0.00	.73646
41	25.0	.60	65.8	3.53E+1	1.46E+2	5.96E+1	1.33E+2	2.54	65.4	0.00	.73702
44	24.9	.70	66.4	3.23E+1	1.55E+2	6.20E+1	1.42E+2	2.70	65.4	0.00	.73746
47	24.9	.80	66.9	2.99E+1	1.64E+2	6.43E+1	1.50E+2	2.86	65.5	0.00	.73813
51	25.1	.90	67.1	2.82E+1	1.73E+2	6.74E+1	1.60E+2	3.03	65.6	0.00	.73860
54	25.1	1.00	67.3	2.67E+1	1.82E+2	7.00E+1	1.68E+2	3.18	65.6	0.00	.73920
58	24.9	1.50	69.0	2.17E+1	2.19E+2	7.85E+1	2.05E+2	3.85	65.9	0.00	.74178
61	25.0	2.00	70.3	1.89E+1	2.52E+2	8.49E+1	2.37E+2	4.43	66.0	0.00	.74359
65	25.1	3.00	72.2	1.58E+1	3.13E+2	9.58E+1	2.98E+2	5.54	66.4	0.00	.74712
68	25.0	4.00	73.3	1.41E+1	3.70E+2	1.06E+2	3.54E+2	6.56	66.6	0.00	.74974
72	25.1	5.00	73.9	1.29E+1	4.22E+2	1.17E+2	4.06E+2	7.52	66.8	0.00	.75205
75	25.0	6.00	74.5	1.20E+1	4.71E+2	1.26E+2	4.54E+2	8.42	67.0	0.00	.75410
79	25.1	7.00	74.9	1.14E+1	5.17E+2	1.35E+2	5.00E+2	9.26	67.2	0.00	.75586
82	25.0	8.00	75.3	1.09E+1	5.64E+2	1.44E+2	5.46E+2	10.11	67.3	0.00	.75660
86	25.1	9.00	75.4	1.05E+1	6.13E+2	1.54E+2	5.93E+2	11.02	67.6	0.00	.75927
89	25.1	10.0	75.6	1.00E+1	6.51E+2	1.61E+2	6.31E+2	11.72	67.6	0.00	.75919
93	25.0	15.0	76.2	8.86E+0	8.60E+2	2.06E+2	8.35E+2	15.77	68.9	0.01	.77270
96	25.0	20.0	75.9	8.03E+0	1.04E+3	2.63E+2	1.01E+3	19.75	71.2	0.01	.79822
100	25.0	15.0	76.5	8.58E+0	8.31E+2	1.94E+2	8.05E+2	15.26	68.9	0.01	.77334
103	25.1	10.0	76.1	9.64E+0	6.24E+2	1.50E+2	6.06E+2	11.23	67.6	0.00	.75947
107	25.1	9.00	75.6	1.01E+1	5.92E+2	1.47E+2	5.73E+2	10.65	67.6	0.00	.75944
110	25.1	8.00	75.3	1.05E+1	5.47E+2	1.39E+2	5.29E+2	9.82	67.3	0.00	.75683
113	25.1	7.00	74.7	1.11E+1	5.04E+2	1.33E+2	4.86E+2	9.03	67.2	0.00	.75616
116	25.1	6.00	74.0	1.18E+1	4.61E+2	1.27E+2	4.43E+2	8.23	67.0	0.00	.75364
120	25.1	5.00	73.1	1.27E+1	4.15E+2	1.20E+2	3.97E+2	7.40	66.9	0.00	.75224
123	25.1	4.00	72.1	1.38E+1	3.65E+2	1.12E+2	3.48E+2	6.48	66.6	0.00	.74935
126	25.0	3.00	70.5	1.56E+1	3.11E+2	1.04E+2	2.93E+2	5.50	66.4	0.00	.74693
129	25.1	2.00	68.0	1.87E+1	2.54E+2	9.50E+1	2.35E+2	4.47	66.0	0.00	.74362
133	25.0	1.50	66.1	2.19E+1	2.25E+2	9.13E+1	2.06E+2	3.95	65.8	0.00	.74145
136	25.0	1.00	63.6	2.72E+1	1.91E+2	8.47E+1	1.71E+2	3.33	65.6	0.00	.73883
140	25.0	.90	62.6	2.92E+1	1.86E+2	8.54E+1	1.65E+2	3.25	65.6	0.00	.73837
143	25.1	.80	61.7	3.13E+1	1.79E+2	8.48E+1	1.57E+2	3.12	65.5	0.00	.73768
146	25.0	.70	60.7	3.41E+1	1.72E+2	8.42E+1	1.50E+2	3.00	65.5	0.00	.73711
149	25.1	.60	59.6	3.77E+1	1.65E+2	8.33E+1	1.42E+2	2.87	65.4	0.00	.73656
153	25.0	.50	58.3	4.22E+1	1.56E+2	8.19E+1	1.32E+2	2.71	65.3	0.00	.73597
156	25.1	.40	56.9	4.89E+1	1.47E+2	8.02E+1	1.23E+2	2.55	65.3	0.00	.73539
160	24.9	.30	55.3	5.96E+1	1.37E+2	7.79E+1	1.12E+2	2.38	65.2	0.00	.73478
165	24.9	.20	53.1	7.94E+1	1.25E+2	7.50E+1	9.98E+1	2.17	65.2	0.00	.73428
172	24.9	.15	51.7	1.00E+2	1.20E+2	7.43E+1	9.42E+1	2.08	65.2	0.00	.73393
180	25.0	.10	52.0	1.48E+2	1.18E+2	7.28E+1	9.28E+1	2.05	65.1	0.00	.73377



HLIN VDR Rheometer (TKK/GRA)

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

öll, pun, viskoelastisuus, ajo 1

Oscillation test  
1993-07-22 12:00:27

asuring system: CP 1/30  
rque element: 304.688 g cm  
mperature: Constant  
of measurements: 1  
ermal equilibrium time: 30 s  
tostrain off

Sensitivity: 1 x Amplitude: 67.3 %

Measurement interval: 16 s

Time s	Temp °C	Freq Hz	Phase	Viscosity* Pas	G* Pa	G' Pa	G'' Pa	Range %	Ampl %	Corr	Strain
2	25.0	.10	89.7	4.01E+0	2.52E+0	1.45E-2	2.52E+0	0.04	66.8	0.00	.75389
13	24.9	.15	76.1	3.27E+0	3.18E+0	7.64E-1	3.08E+0	0.06	66.8	0.00	.75420
21	25.0	.20	79.3	2.71E+0	3.47E+0	6.42E-1	3.41E+0	0.06	66.8	0.00	.75453
28	25.0	.30	81.5	2.85E+0	5.44E+0	8.05E-1	5.38E+0	0.10	66.9	0.00	.75523
33	25.0	.40	80.7	2.58E+0	6.58E+0	1.06E+0	6.49E+0	0.12	67.0	0.00	.75591
37	25.0	.50	79.9	2.51E+0	8.01E+0	1.40E+0	7.89E+0	0.14	67.0	0.00	.75661
41	25.0	.60	79.6	2.43E+0	9.30E+0	1.68E+0	9.15E+0	0.17	67.1	0.00	.75717
44	25.0	.70	79.4	2.31E+0	1.04E+1	1.91E+0	1.02E+1	0.19	67.1	0.00	.75794
48	25.1	.80	79.4	2.30E+0	1.18E+1	2.16E+0	1.16E+1	0.21	67.2	0.00	.75858
51	25.1	.90	79.3	2.24E+0	1.29E+1	2.38E+0	1.27E+1	0.23	67.3	0.00	.75928
54	25.1	1.00	79.0	2.20E+0	1.41E+1	2.69E+0	1.38E+1	0.25	67.3	0.00	.75973
58	25.0	1.50	78.1	1.98E+0	1.91E+1	3.93E+0	1.87E+1	0.34	67.5	0.00	.76240
61	25.0	2.00	77.6	1.85E+0	2.38E+1	5.12E+0	2.32E+1	0.43	67.8	0.00	.76480
65	25.1	3.00	76.4	1.65E+0	3.20E+1	7.51E+0	3.11E+1	0.58	68.0	0.00	.76797
68	25.0	4.00	75.5	1.52E+0	3.95E+1	9.88E+0	3.83E+1	0.72	68.3	0.00	.77052
72	25.2	5.00	74.7	1.43E+0	4.66E+1	1.23E+1	4.50E+1	0.85	68.6	0.00	.77386
75	25.1	6.00	74.0	1.35E+0	5.31E+1	1.46E+1	5.10E+1	0.97	68.7	0.00	.77500
79	25.1	7.00	73.4	1.29E+0	5.92E+1	1.69E+1	5.67E+1	1.09	68.8	0.00	.77677
83	25.0	8.00	72.7	1.24E+0	6.52E+1	1.93E+1	6.22E+1	1.20	69.0	0.00	.77857
86	25.0	9.00	72.2	1.20E+0	7.13E+1	2.18E+1	6.79E+1	1.32	69.2	0.00	.78041
90	24.9	10.0	71.8	1.15E+0	7.63E+1	2.39E+1	7.25E+1	1.41	69.1	0.00	.77899
93	25.1	15.0	70.0	9.96E-1	9.99E+1	3.41E+1	9.39E+1	1.88	70.3	0.00	.79323
97	25.0	20.0	68.4	8.89E-1	1.20E+2	4.43E+1	1.12E+2	2.36	73.1	0.00	.82417
100	25.1	15.0	70.0	9.99E-1	1.00E+2	3.43E+1	9.42E+1	1.89	70.3	0.00	.79335
104	25.1	10.0	71.6	1.17E+0	7.73E+1	2.44E+1	7.33E+1	1.43	69.0	0.00	.77886
107	25.0	9.00	71.8	1.23E+0	7.32E+1	2.29E+1	6.96E+1	1.35	69.2	0.00	.78029
111	25.0	8.00	72.2	1.29E+0	6.79E+1	2.07E+1	6.46E+1	1.25	69.0	0.00	.77888
114	25.0	7.00	72.8	1.35E+0	6.20E+1	1.83E+1	5.92E+1	1.14	68.8	0.00	.77631
117	25.0	6.00	72.9	1.44E+0	5.68E+1	1.67E+1	5.43E+1	1.04	68.7	0.00	.77554
120	25.1	5.00	73.4	1.55E+0	5.07E+1	1.45E+1	4.85E+1	0.93	68.6	0.00	.77395
124	25.0	4.00	73.7	1.67E+0	4.38E+1	1.23E+1	4.21E+1	0.80	68.3	0.00	.77078
127	25.1	3.00	74.0	1.85E+0	3.64E+1	1.00E+1	3.50E+1	0.66	68.1	0.00	.76863
130	25.1	2.00	74.1	2.14E+0	2.79E+1	7.63E+0	2.69E+1	0.51	67.8	0.00	.76483
133	25.0	1.50	74.0	2.42E+0	2.37E+1	6.51E+0	2.28E+1	0.43	67.6	0.00	.76271
137	25.0	1.00	73.3	2.77E+0	1.82E+1	5.21E+0	1.74E+1	0.33	67.3	0.00	.75988
140	25.0	.90	73.2	2.94E+0	1.74E+1	5.01E+0	1.66E+1	0.31	67.2	0.00	.75901
143	25.0	.80	72.7	3.10E+0	1.63E+1	4.85E+0	1.56E+1	0.29	67.2	0.00	.75853
147	24.9	.70	72.4	3.33E+0	1.54E+1	4.66E+0	1.47E+1	0.28	67.1	0.00	.75781
150	25.0	.60	71.6	3.63E+0	1.44E+1	4.56E+0	1.37E+1	0.26	67.1	0.00	.75711
153	24.9	.50	70.6	3.96E+0	1.32E+1	4.39E+0	1.25E+1	0.24	67.0	0.00	.75651
157	24.9	.40	69.3	4.42E+0	1.19E+1	4.19E+0	1.11E+1	0.21	67.0	0.00	.75578
161	24.9	.30	66.7	5.30E+0	1.09E+1	4.31E+0	9.99E+0	0.19	66.9	0.00	.75511
166	24.9	.20	65.3	6.58E+0	9.10E+0	3.81E+0	8.27E+0	0.16	66.8	0.00	.75441
172	24.8	.15	63.9	7.96E+0	8.36E+0	3.68E+0	7.50E+0	0.15	66.8	0.00	.75411
180	24.9	.10	61.6	1.08E+1	7.72E+0	3.68E+0	6.79E+0	0.14	66.8	0.00	.75381



T K K G R A

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM  
Oscillation test  
1994-01-10 15:08:19

Wiederhold WFP, mag, viskoelastisuus, ajo 1

# 1

Measuring system: CP 1/30

Torque element: 304.688 g cm

Temperature: Constant

No of measurements: 1

Thermal equilibrium time: 30 s

Autostrain off

Sensitivity: 1 x Amplitude: 67.3 %

Measurement interval: 16 s

Time s	Temp °C	Freq Hz	Phase	Viscosity Pa s	G' Pa	G'' Pa	G''' Pa	Range %	Ampl %	Corr	Strain
1	25.2	.10	76.2	5.40E+1	3.49E+1	8.34E+0	3.39E+1	0.59	63.2	0.00	.7129
12	24.9	.15	74.2	3.64E+1	3.56E+1	9.71E+0	3.43E+1	0.60	63.2	0.00	.7131
20	24.9	.20	72.4	2.77E+1	3.65E+1	1.10E+1	3.48E+1	0.62	63.2	0.00	.7134
24	25.0	.30	73.2	2.01E+1	3.97E+1	1.15E+1	3.80E+1	0.67	63.3	0.00	.7140
30	24.9	.40	72.5	1.62E+1	4.24E+1	1.28E+1	4.06E+1	0.72	63.3	0.00	.7146
34	25.0	.50	72.5	1.37E+1	4.51E+1	1.36E+1	4.30E+1	0.76	63.4	0.00	.7151
37	25.1	.60	72.4	1.21E+1	4.77E+1	1.45E+1	4.55E+1	0.81	63.4	0.00	.7157
40	25.0	.70	72.3	1.08E+1	5.00E+1	1.52E+1	4.76E+1	0.85	63.5	0.00	.7164
43	25.1	.80	72.6	9.89E+0	5.21E+1	1.56E+1	4.97E+1	0.88	63.5	0.00	.7168
45	25.1	.90	72.4	9.17E+0	5.44E+1	1.65E+1	5.18E+1	0.92	63.6	0.00	.7175
47	25.1	1.00	72.6	8.58E+0	5.61E+1	1.69E+1	5.39E+1	0.96	63.6	0.00	.7180
49	25.2	1.50	73.1	7.06E+0	5.95E+1	2.02E+1	6.65E+1	1.18	63.9	0.00	.7203
52	25.0	2.00	73.5	6.16E+0	6.07E+1	2.29E+1	7.74E+1	1.38	64.1	0.00	.7225
55	25.2	3.00	73.9	5.19E+0	1.03E+2	2.83E+1	9.79E+1	1.75	64.4	0.00	.7260
57	25.1	4.00	74.2	4.59E+0	1.20E+2	3.26E+1	1.15E+2	2.07	64.6	0.00	.7284
59	25.2	5.00	74.5	4.18E+0	1.36E+2	3.63E+1	1.31E+2	2.36	64.8	0.00	.7310
61	25.1	6.00	74.7	3.98E+0	1.50E+2	4.00E+1	1.46E+2	2.63	65.0	0.00	.7332
63	25.1	7.00	74.9	3.63E+0	1.65E+2	4.29E+1	1.60E+2	2.89	65.1	0.00	.7345
65	25.1	8.00	74.9	3.46E+0	1.80E+2	4.67E+1	1.74E+2	3.14	65.5	0.00	.7381
67	25.2	9.00	75.0	3.33E+0	1.95E+2	5.05E+1	1.88E+2	3.41	65.5	0.00	.7384
69	25.2	10.0	74.9	3.18E+0	2.07E+2	5.37E+1	2.00E+2	3.63	65.8	0.00	.7411
72	25.2	15.0	74.9	2.77E+0	2.70E+2	7.02E+1	2.61E+2	4.82	66.8	0.00	.7520
74	25.2	20.0	74.6	2.51E+0	3.26E+2	8.66E+1	3.16E+2	6.12	69.7	0.00	.7843
76	25.2	15.0	74.9	2.74E+0	2.67E+2	6.97E+1	2.58E+2	4.78	66.8	0.00	.7530
78	25.1	10.0	74.7	3.13E+0	2.04E+2	5.38E+1	1.97E+2	3.59	65.8	0.00	.7419
80	25.1	9.00	74.6	3.28E+0	1.92E+2	5.12E+1	1.85E+2	3.37	65.5	0.00	.7387
82	25.1	8.00	74.3	3.40E+0	1.78E+2	4.81E+1	1.71E+2	3.11	65.6	0.00	.7391
84	25.1	7.00	74.1	3.56E+0	1.63E+2	4.45E+1	1.57E+2	2.84	65.2	0.00	.7354
87	25.0	6.00	73.7	3.78E+0	1.49E+2	4.18E+1	1.43E+2	2.58	65.2	0.00	.7347
89	25.0	5.00	73.3	4.04E+0	1.33E+2	3.81E+1	1.27E+2	2.30	64.9	0.00	.7322
91	25.0	4.00	72.8	4.39E+0	1.16E+2	3.43E+1	1.10E+2	2.00	64.7	0.00	.7298
93	25.1	3.00	72.0	4.89E+0	9.70E+1	2.99E+1	9.22E+1	1.67	64.4	0.00	.7267
95	25.1	2.00	70.8	5.67E+0	7.55E+1	2.48E+1	7.13E+1	1.29	64.1	0.00	.7229
97	25.0	1.50	69.8	6.41E+0	6.44E+1	2.22E+1	6.04E+1	1.10	63.9	0.00	.7205
100	25.0	1.00	69.2	7.62E+0	5.16E+1	1.91E+1	4.79E+1	0.89	63.6	0.00	.7179
102	25.1	.90	67.4	8.06E+0	4.94E+1	1.90E+1	4.56E+1	0.84	63.6	0.00	.7174
105	25.1	.80	66.5	8.66E+0	4.75E+1	1.89E+1	4.35E+1	0.81	63.6	0.00	.7170
107	25.0	.70	65.6	9.33E+0	4.51E+1	1.86E+1	4.10E+1	0.76	63.5	0.00	.7162
110	25.0	.60	64.8	1.02E+1	4.25E+1	1.81E+1	3.84E+1	0.72	63.4	0.00	.7151
112	25.0	.50	63.3	1.14E+1	4.01E+1	1.80E+1	3.58E+1	0.68	63.4	0.00	.7150
115	24.9	.40	62.0	1.37E+1	3.73E+1	1.76E+1	3.31E+1	0.63	63.3	0.00	.7145
119	24.9	.30	64.7	1.55E+1	3.39E+1	1.71E+1	2.93E+1	0.57	63.3	0.00	.7135
124	24.9	.20	67.0	2.11E+1	3.11E+1	1.72E+1	2.65E+1	0.53	63.2	0.00	.7124
130	24.9	.15	64.2	2.75E+1	3.19E+1	1.87E+1	2.59E+1	0.54	63.2	0.00	.7120
137	24.9	.10	63.9	4.44E+1	3.45E+1	2.03E+1	2.79E+1	0.58	63.2	0.00	.7120



K K G R A

BOHLIN RHEOMETER SYSTEM

Oscillation test

ederhold WFK, mag, viskoelastisuus, ajo 1

1994-01-10 15:30:13

1

asuring system: CP 1/30

rque element: 304.688 g cm

mperature: Constant

of measurements: 1

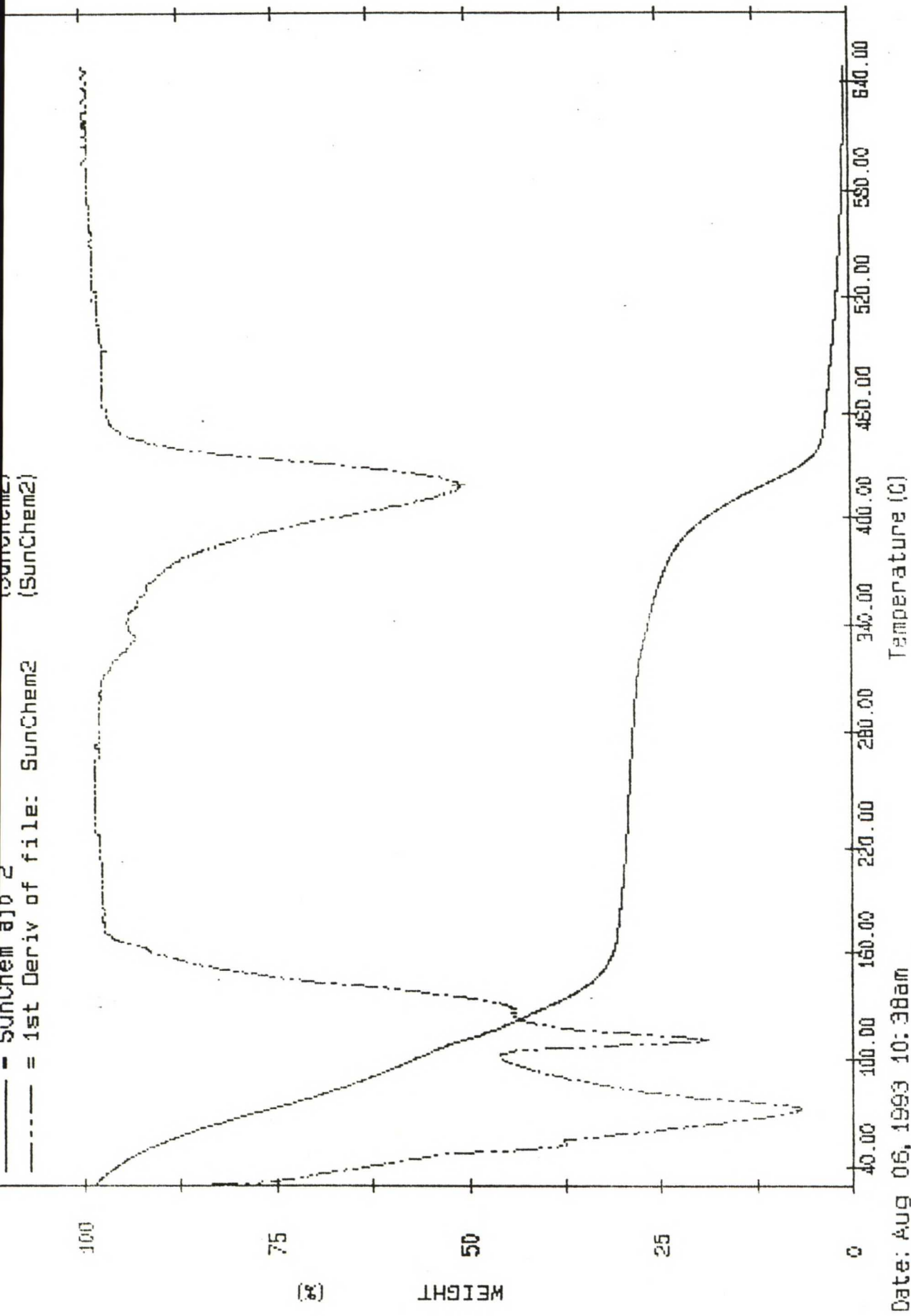
ermal equilibrium time: 30 s

tostrain off

Sensitivity: 1 x Amplitude: 67.3 %

Measurement interval: 16 s

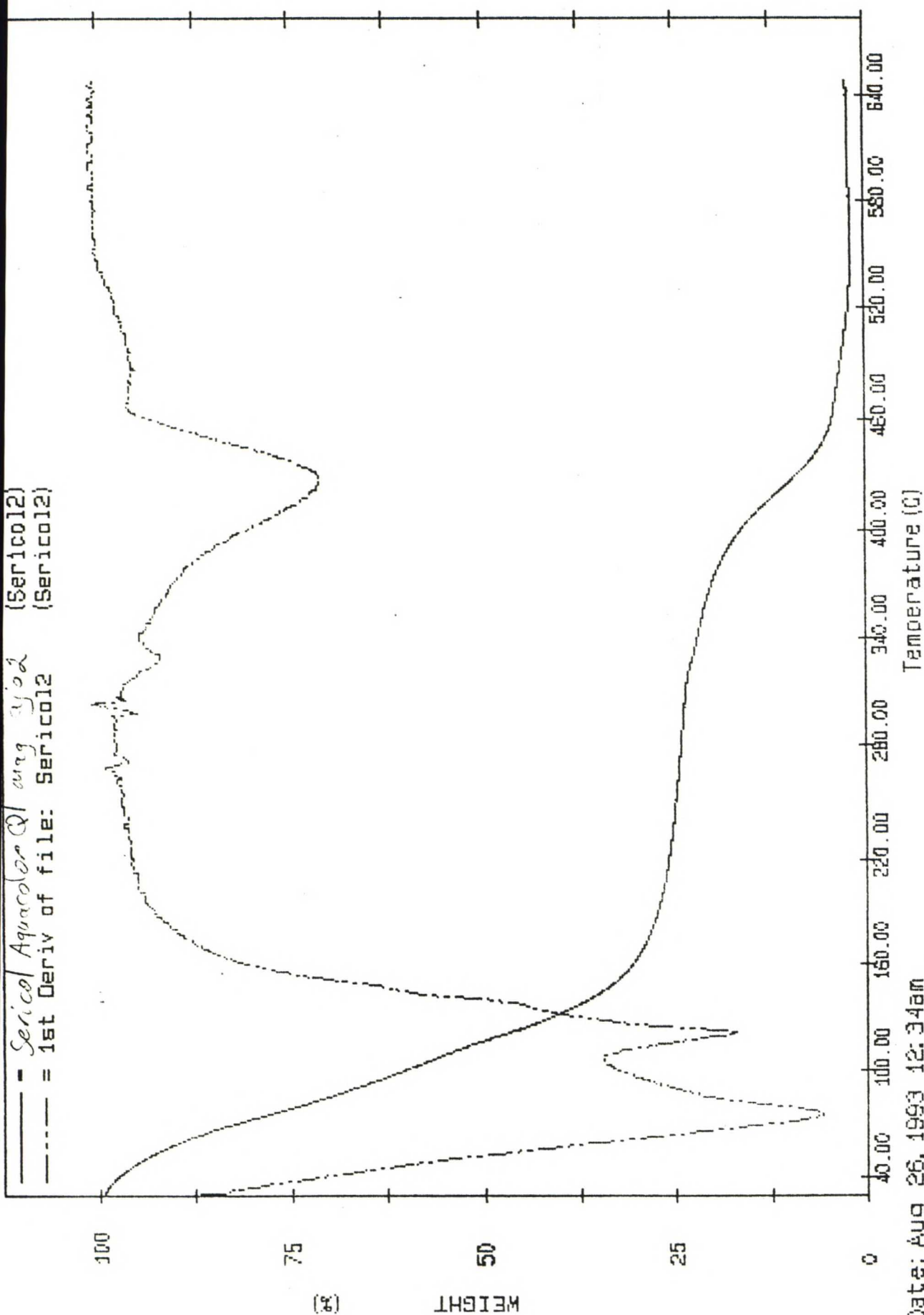
Time s	Temp °C	Freq Hz	Phase	Viscosity Pas	G* Pa	G' Pa	G'' Pa	Range %	Ampl %	Corr	Strain
1	25.5	.10	80.2	5.18E+0	3.30E+0	5.65E-1	3.25E+0	0.06	63.2	0.00	.71308
12	25.1	.15	68.9	4.26E+0	4.30E+0	1.55E+0	4.01E+0	0.07	63.2	0.00	.71332
20	25.1	.20	65.2	3.84E+0	5.32E+0	2.23E+0	4.93E+0	0.09	63.2	0.00	.71366
26	25.1	.30	68.2	3.29E+0	6.67E+0	2.48E+0	6.20E+0	0.11	63.3	0.00	.71427
31	25.1	.40	68.7	3.12E+0	8.41E+0	3.06E+0	7.84E+0	0.14	63.3	0.00	.71484
34	25.0	.50	69.7	2.83E+0	9.49E+0	3.30E+0	8.90E+0	0.16	63.4	0.00	.71537
37	25.1	.60	69.9	2.70E+0	1.08E+1	3.72E+0	1.02E+1	0.18	63.4	0.00	.71600
40	25.2	.70	70.1	2.57E+0	1.20E+1	4.10E+0	1.13E+1	0.20	63.5	0.00	.71653
43	25.2	.80	70.6	2.46E+0	1.31E+1	4.35E+0	1.24E+1	0.22	63.5	0.00	.71714
45	25.3	.90	71.5	2.38E+0	1.42E+1	4.51E+0	1.35E+1	0.24	63.6	0.00	.71783
47	25.2	1.00	71.7	2.29E+0	1.51E+1	4.76E+0	1.44E+1	0.26	63.6	0.00	.71838
49	25.2	1.50	72.8	1.97E+0	1.94E+1	5.76E+0	1.85E+1	0.33	63.9	0.00	.72086
53	25.0	2.00	73.6	1.75E+0	2.34E+1	6.62E+0	2.24E+1	0.40	64.1	0.00	.72372
55	25.2	3.00	74.6	1.55E+0	3.04E+1	8.06E+0	2.93E+1	0.52	64.4	0.00	.72675
57	25.2	4.00	74.9	1.41E+0	3.66E+1	9.52E+0	3.54E+1	0.63	64.6	0.00	.72940
59	25.2	5.00	75.4	1.31E+0	4.25E+1	1.07E+1	4.12E+1	0.74	64.9	0.00	.73250
61	25.2	6.00	75.6	1.24E+0	4.82E+1	1.20E+1	4.67E+1	0.84	65.1	0.00	.73477
63	25.2	7.00	76.1	1.19E+0	5.33E+1	1.28E+1	5.17E+1	0.93	65.2	0.00	.73548
65	25.1	8.00	76.3	1.13E+0	5.84E+1	1.38E+1	5.67E+1	1.02	65.5	0.00	.73813
67	25.1	9.00	76.6	1.10E+0	6.37E+1	1.48E+1	6.20E+1	1.12	65.5	0.00	.73904
69	25.1	10.0	76.7	1.05E+0	6.81E+1	1.57E+1	6.62E+1	1.20	65.8	0.00	.74260
72	25.1	15.0	76.5	9.46E-1	9.17E+1	2.14E+1	8.91E+1	1.64	66.9	0.00	.75433
74	25.2	20.0	76.1	9.80E-1	1.14E+2	2.73E+1	1.11E+2	2.13	69.6	0.00	.78548
76	25.2	15.0	76.8	9.35E-1	9.05E+1	2.06E+1	8.81E+1	1.62	67.0	0.00	.75547
78	25.1	10.0	77.3	1.03E+0	6.66E+1	1.47E+1	6.50E+1	1.17	65.9	0.00	.74310
90	25.1	9.00	77.4	1.07E+0	6.22E+1	1.35E+1	6.07E+1	1.09	65.5	0.00	.73944
82	25.1	8.00	77.4	1.10E+0	5.67E+1	1.24E+1	5.53E+1	0.99	65.5	0.00	.73896
84	25.1	7.00	77.7	1.14E+0	5.15E+1	1.10E+1	5.03E+1	0.90	65.2	0.00	.73582
86	25.1	6.00	77.5	1.20E+0	4.64E+1	1.00E+1	4.53E+1	0.81	65.2	0.00	.73541
89	25.0	5.00	77.7	1.27E+0	4.08E+1	8.72E+0	3.99E+1	0.71	65.0	0.00	.73301
91	25.1	4.00	77.7	1.36E+0	3.49E+1	7.44E+0	3.41E+1	0.60	64.7	0.00	.73038
93	25.2	3.00	77.6	1.48E+0	2.86E+1	6.13E+0	2.80E+1	0.49	64.5	0.00	.72751
95	25.1	2.00	77.8	1.69E+0	2.17E+1	4.58E+0	2.12E+1	0.37	64.1	0.00	.72341
97	25.0	1.50	77.6	1.88E+0	1.81E+1	3.88E+0	1.77E+1	0.31	63.9	0.00	.72094
100	25.0	1.00	76.9	2.19E+0	1.41E+1	3.21E+0	1.37E+1	0.24	63.7	0.00	.71858
102	25.1	.90	76.8	2.31E+0	1.34E+1	3.08E+0	1.31E+1	0.23	63.6	0.00	.71791
105	25.0	.80	76.5	2.51E+0	1.30E+1	3.03E+0	1.26E+1	0.22	63.6	0.00	.71741
107	25.0	.70	76.5	2.65E+0	1.20E+1	2.80E+0	1.17E+1	0.20	63.5	0.00	.71671
109	24.9	.60	76.2	2.92E+0	1.13E+1	2.70E+0	1.10E+1	0.19	63.4	0.00	.71598
112	25.0	.50	75.0	3.29E+0	1.07E+1	2.77E+0	1.03E+1	0.18	63.4	0.00	.71533
115	24.9	.40	74.9	3.83E+0	9.96E+0	2.50E+0	9.62E+0	0.17	63.3	0.00	.71471
119	24.9	.30	74.9	4.56E+0	8.91E+0	2.32E+0	8.60E+0	0.15	63.3	0.00	.71421
123	24.8	.20	71.4	6.31E+0	8.23E+0	2.12E+0	7.81E+0	0.14	63.2	0.00	.71361
130	24.8	.15	69.2	8.51E+0	8.59E+0	3.05E+0	8.02E+0	0.14	63.2	0.00	.71321
137	24.6	.10	63.8	1.25E+1	8.60E+0	3.52E+0	7.85E+0	0.15	63.2	0.00	.71291



Date: Aug 06, 1993 10:38am  
Scanning Rate: 20.0 C/min  
Sample Wt: 4.808 mg Path: A: \JTM\  
File: SUNCHEM2 JTM

Perkin-Elmer TGA7





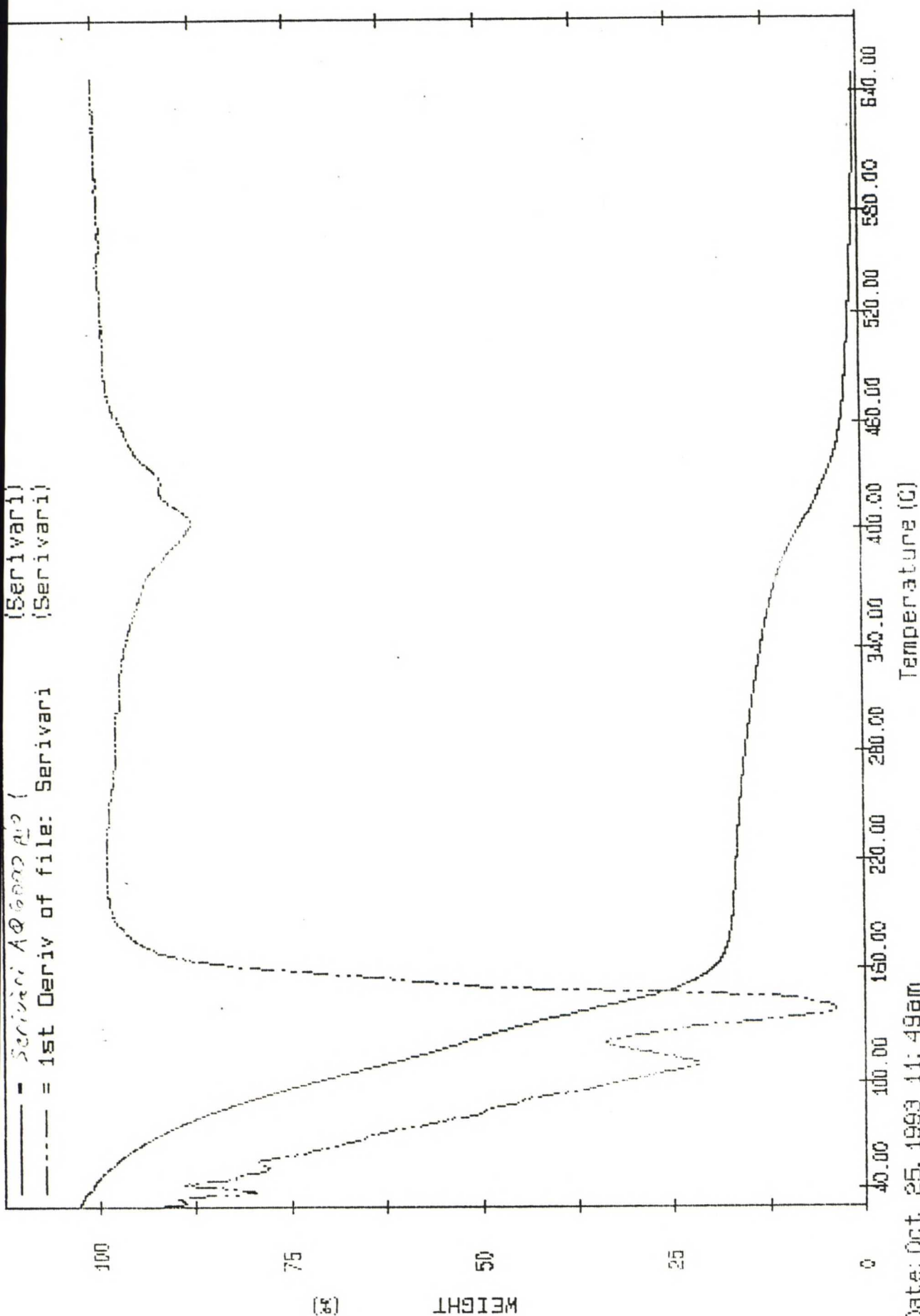
Date: Aug 26, 1993 12:34am

Scanning Rate: 20.0 C/min

Sample Wt: 5.673 mg Path: A: \JTM\

File: SERICOL2

Perkin-Elmer TGA7

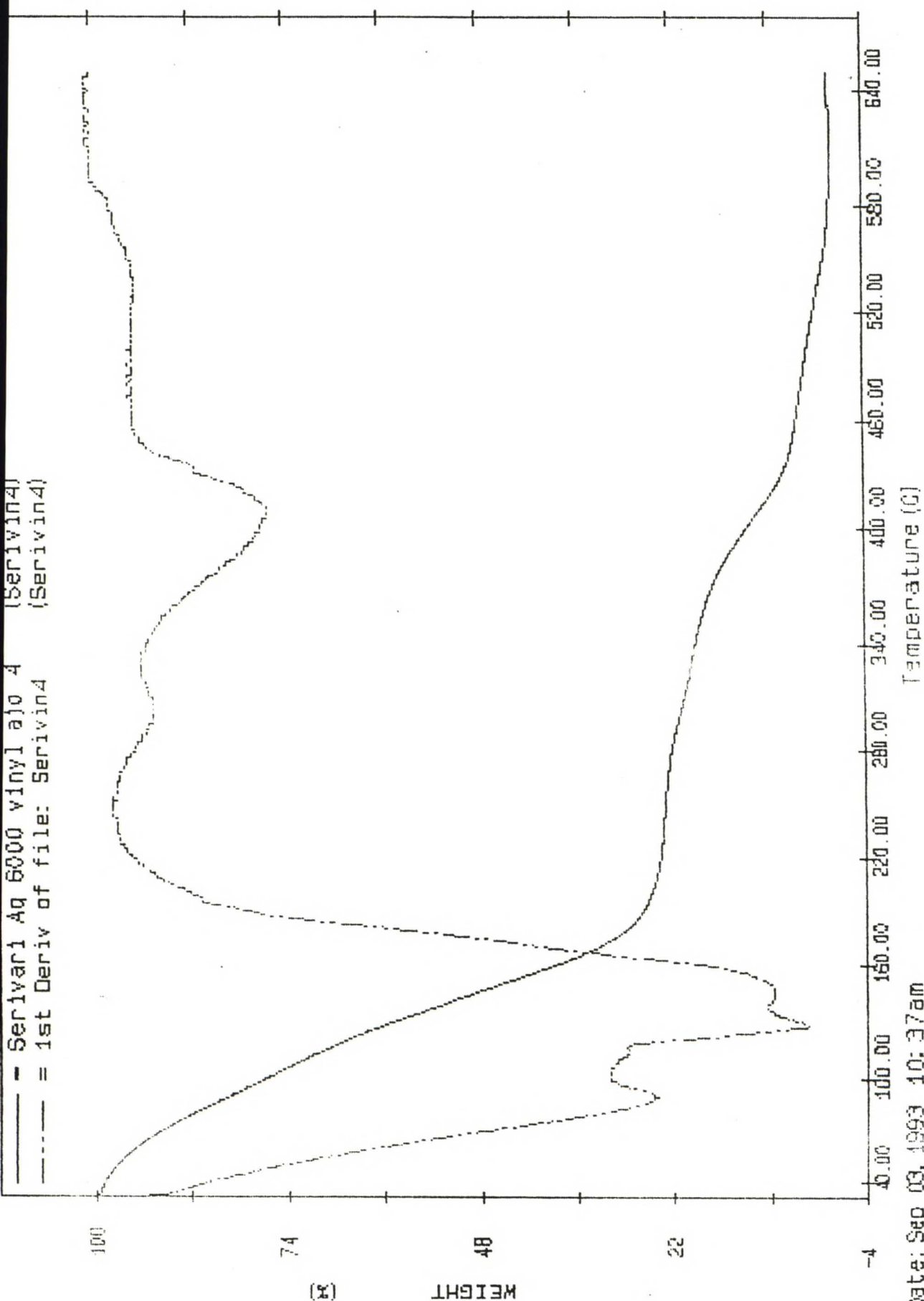


Date: Oct 25, 1993 11: 49am  
 Scanning Rate: 20.0 °C/min  
 Sample Wt: 13.561 mg Path: A: \JTM\  
 File: SERIVARI

Perkin-Elmer TGA7



Liite 2. 4(11)



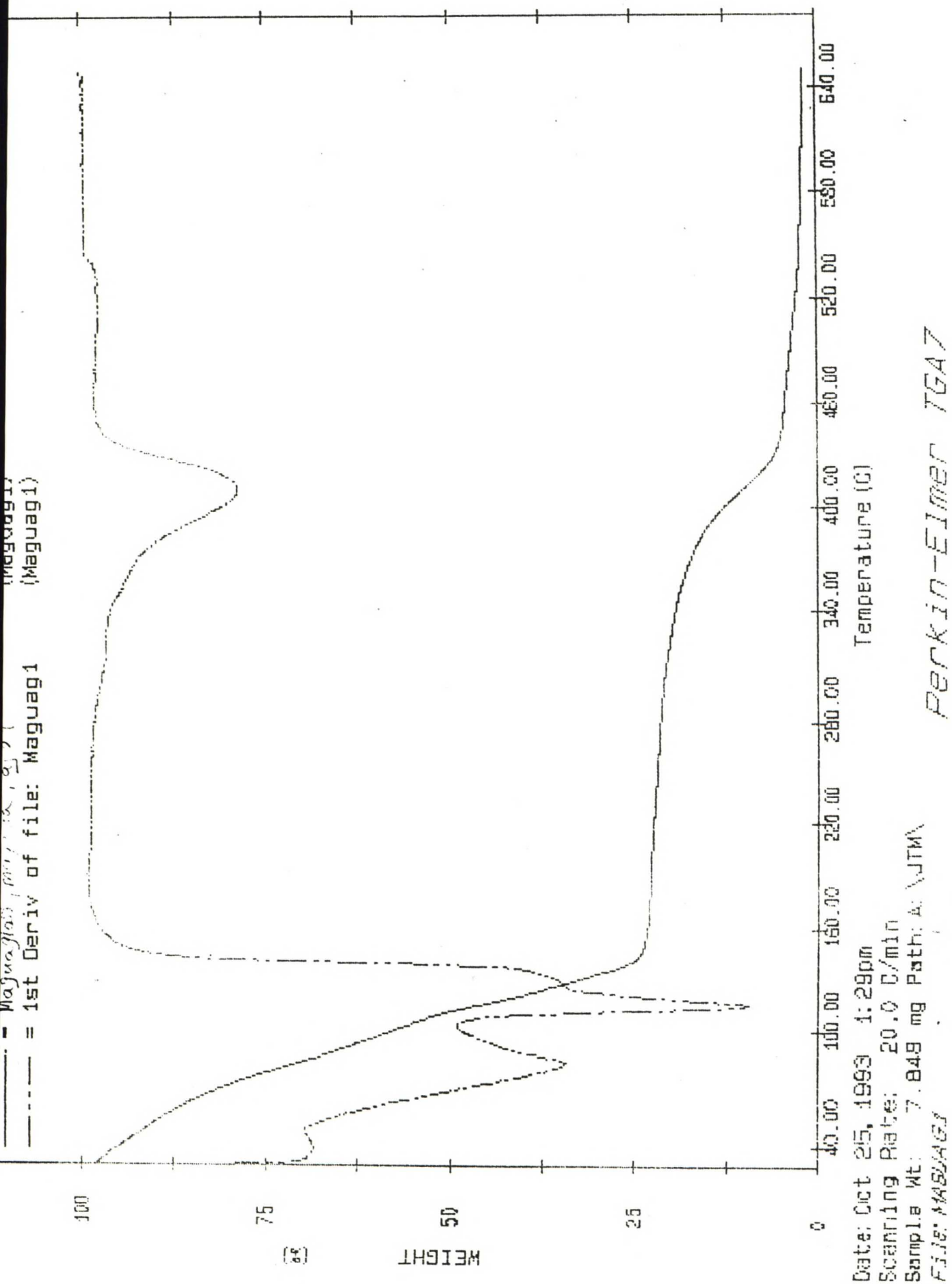
Date: Sep 03, 1993 10:37am

Scanning Rate: 20.0 °C/min

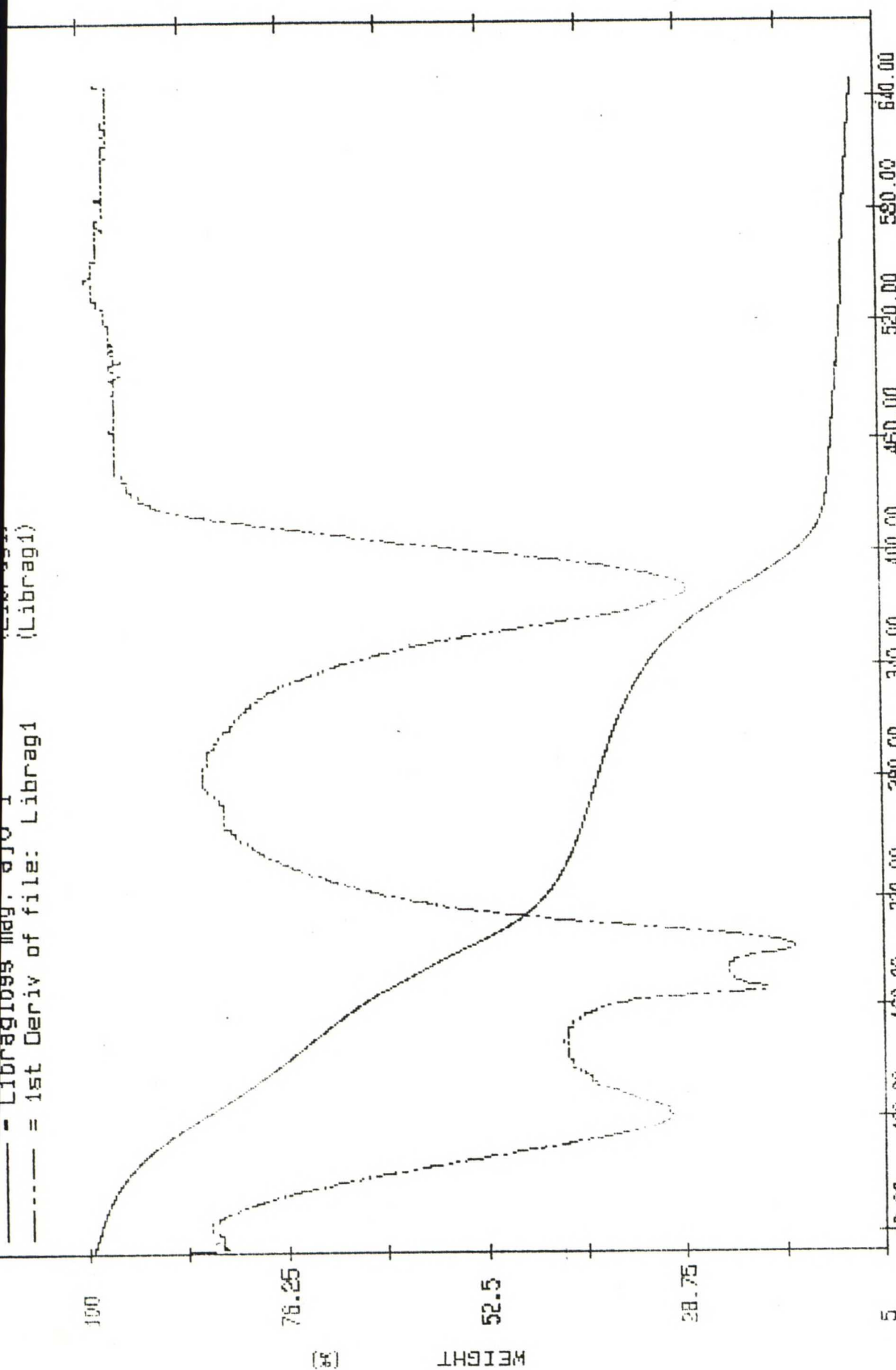
Sample Wt: 12.235 mg Path: A: \JTM\

File: SERIVIN4 JTM

Perkin-Elmer TGA7



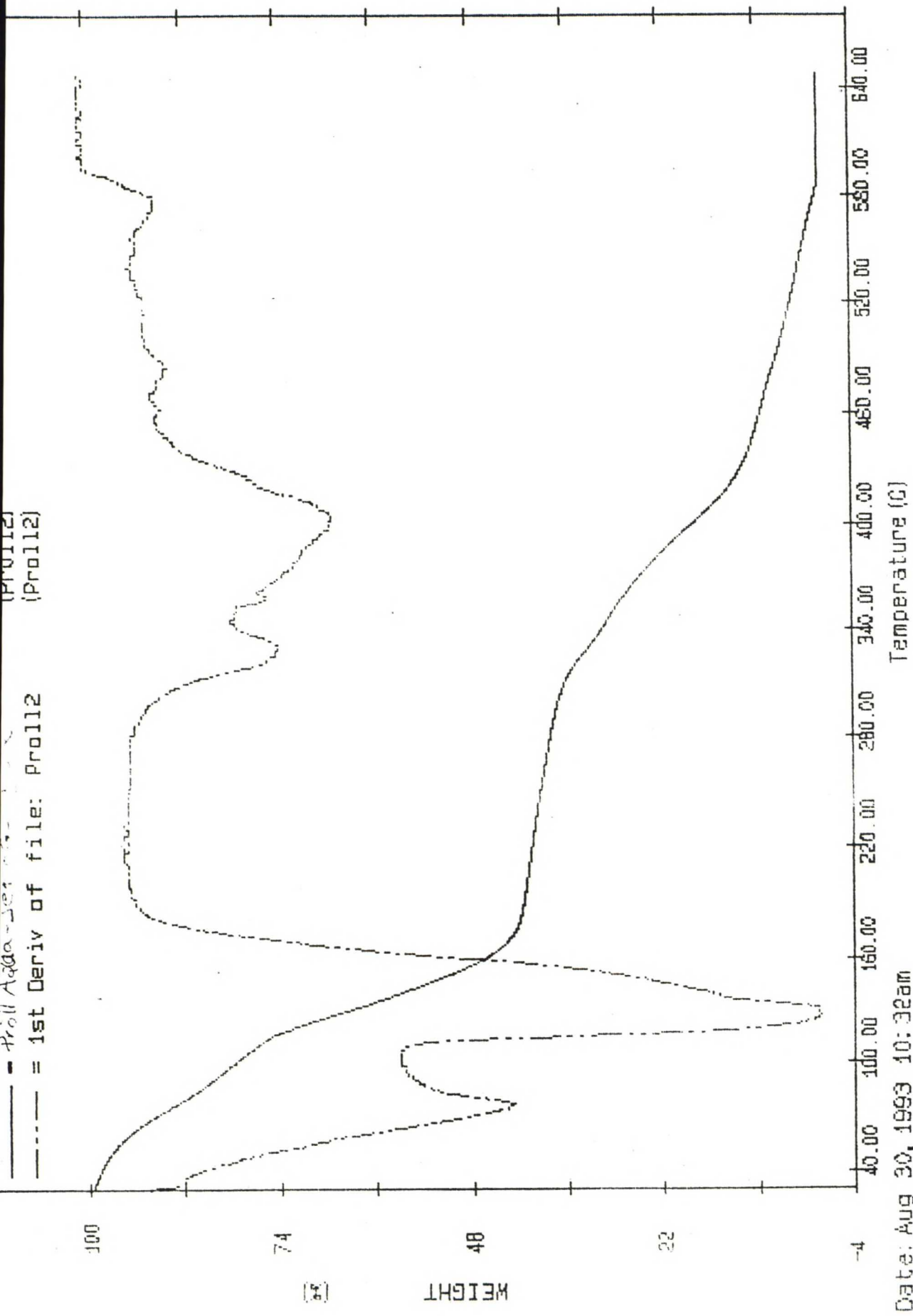




Temperature (C)

Date: Oct 28, 1993 09:55am  
Scanning Rate: 20.0 C/min  
Sample Wt: 9.158 mg Path: A: \JTM\  
File: LIBRAG1 JTM

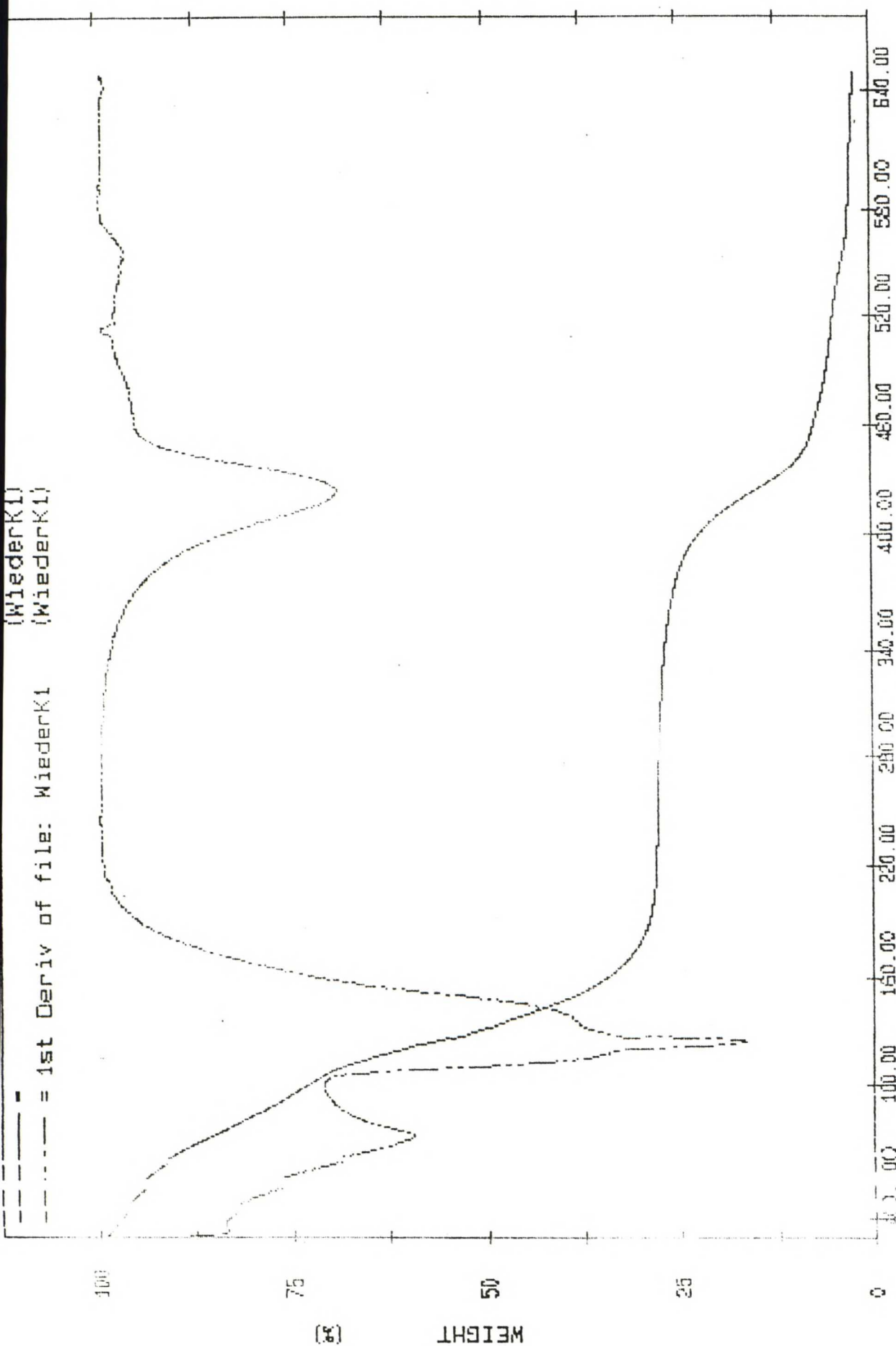
Perkin-Elmer TGA7



Date: Aug 30, 1993 10:32am  
Scanning Rate: 20.0 C/min  
Sample Wt: 11.285 mg Path: A \JTM\  
File: PROLL2

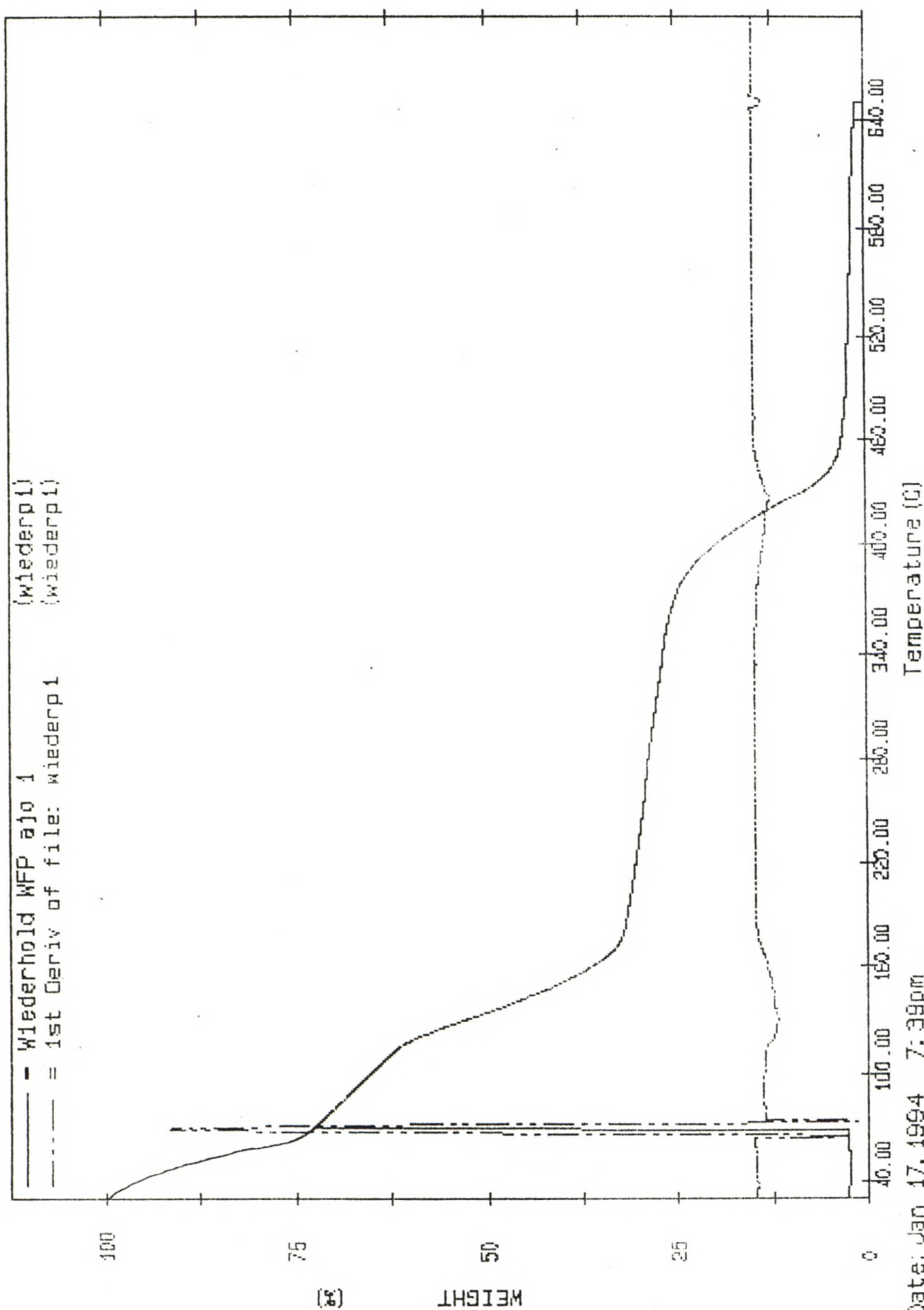
Perkin-Elmer TGA7





Date: Jan 17, 1994 8:23pm  
 Scanning Rate: 20.0 °C/min  
 Sample Wt: 3.110 mg Path: C:\jtm\  
 File: WIEDEK1

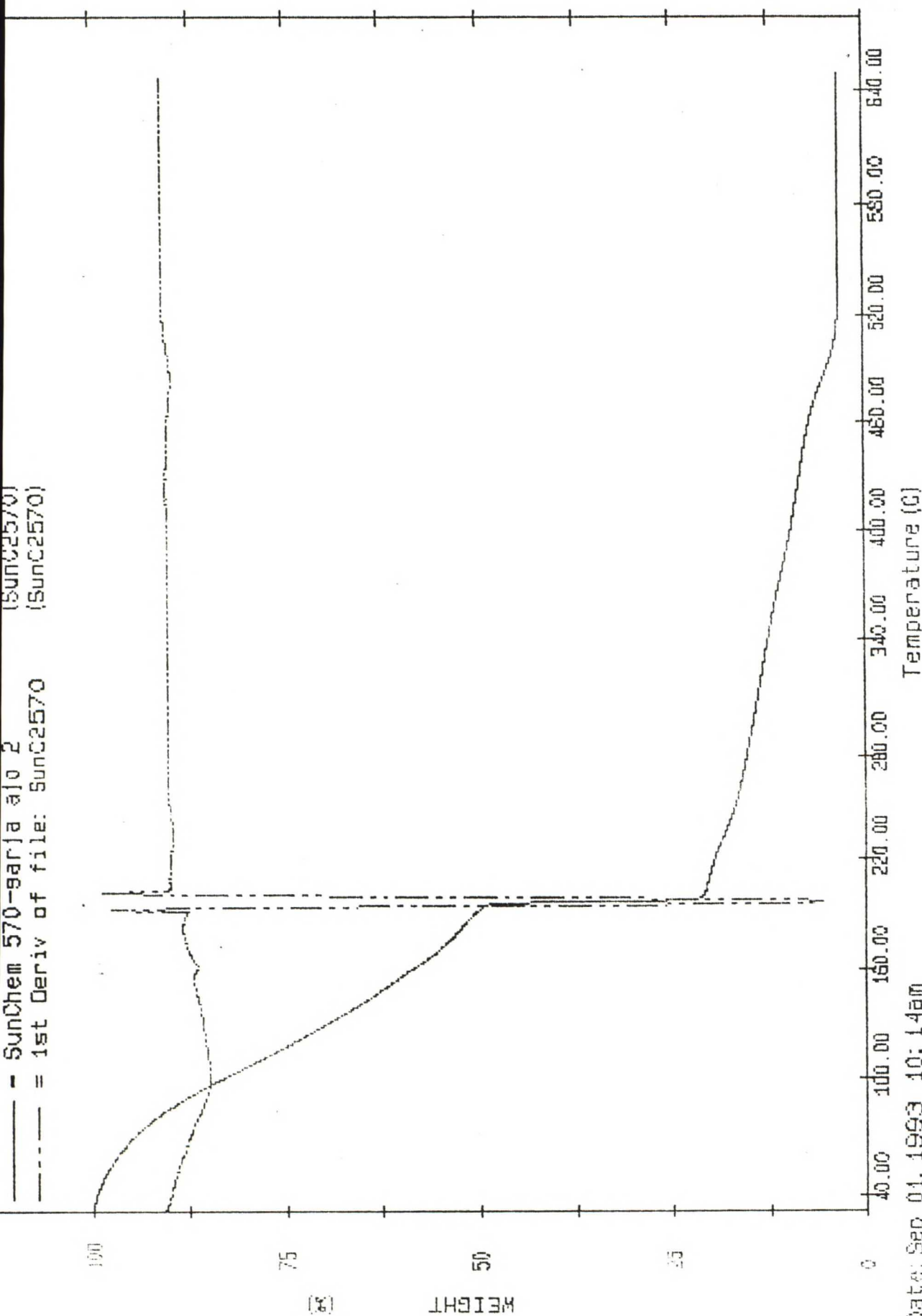
Perkin-Elmer TGA7



Date: Jan 17, 1994 7:39pm  
 Scanning Rate: 20.0 C/min  
 Sample Wt: 18.144 mg Path: A:\  
 File: WIEDERPL1 JTM

Perkin-Elmer TGA7

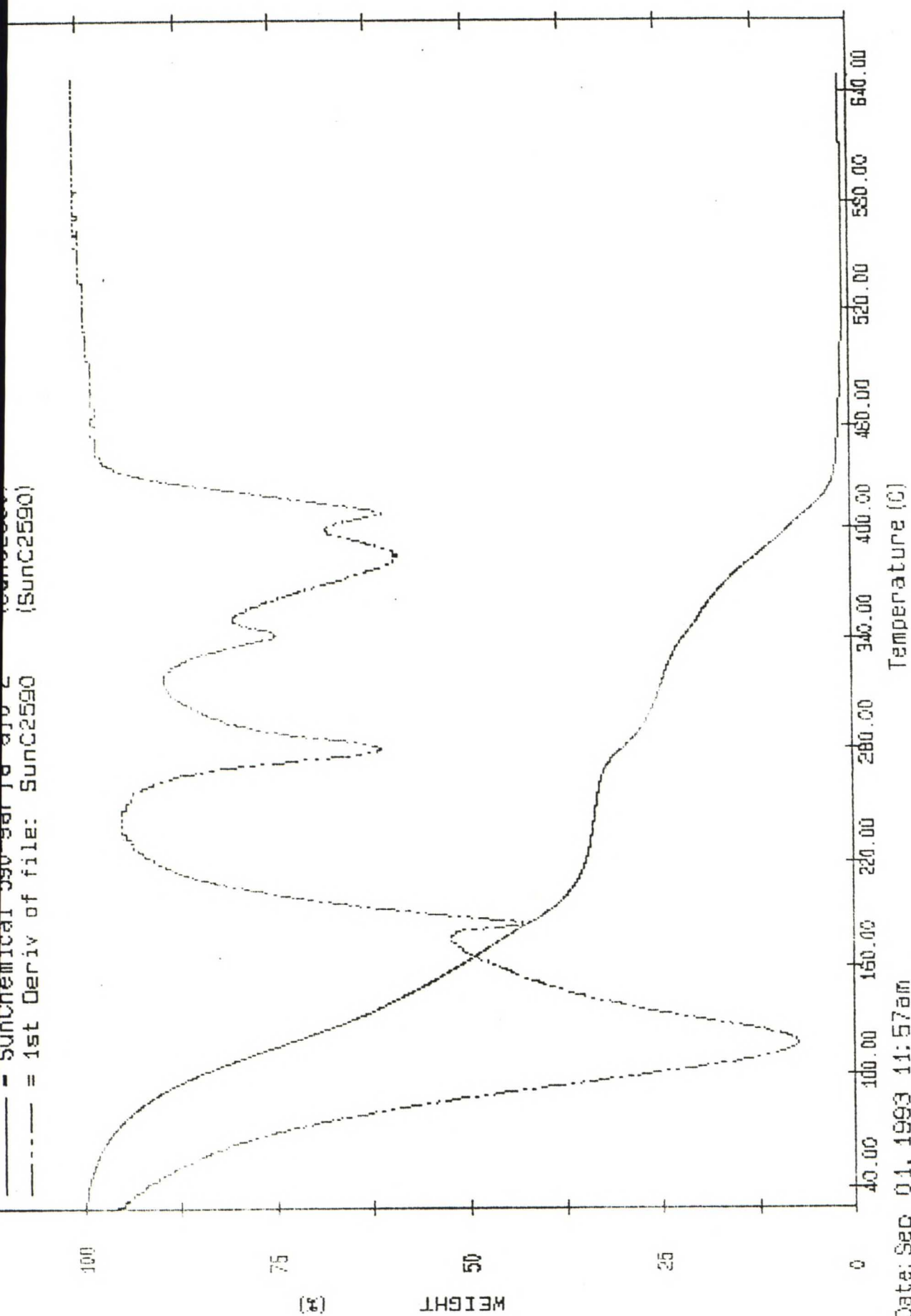




Date: Sep 01, 1993 10:14am  
 Scanning Rate: 20.0 C/min  
 Sample Wt: 11.862 mg Path: A:\JTM\  
 File: SUNC2570 JTM

PERKIN-ELMER TGA7

Liite 2. 11(11)



Date: Sep 01, 1993 11:57am  
Scanning Rate: 20.0 °C/min  
Sample Wt: 10.303 mg Path: A:\JTM\  
File: SUNC2590 JTM

Perkin-Elmer TGA7



### LIITE 3. Värien ominaisuuksien arviointi valmistajakohtaisesti.

#### **SunChemical Passad AQ-51:**

Väri oli toinen tuotantopainatuksiin valituista vesipohjaisista väreistä. Väri on Ruotsissa kehitetty ja valmistettu vastaamaan nimenomaan eurooppalaisia seripainoprosesseja. Hinnaltaan väri on kilpailukykyinen. Testatuista väreistä ilmeisesti juuri SunChemical AQ sisälsi vähiten orgaanisia liuottimia. Väri oli myös melko hajuton. Värin reologia on tasainen ja sen ohennus ja pesu vedellä on helppoa. Väri kuivui hyvin, mutta sen kosteuskesto oli testatuista väreistä vain keskitasoa. Värin kiilto oli keskitasoa parempi.

#### **Sericol Aquacolor QL:**

Englantilainen Sericol Aquacolor QL valittiin myös tuotantopainatuksiin. Väri on vain hieman SunChemicalsin väriä kalliimpaa, mutta esimerkiksi sen kosteudenkesto on parempi. Tämän saa ilmeisesti aikaan 15% orgaanisten liuottimien osuus verrattuna SunChemicalsin 5%:iin. Sericol oli testiväreistä ainoa, joka tarjosi veden lisäksi vaihtoehtoisena ohenteena omaa Aquacolor detail thinneriä. Ohennus tällä aineella olikin huomattavasti vettä tehokkaampaa. Erillisen ohennusaineen käyttäminen nostaa kuitenkin käyttökustannuksia. Myös Sericolin reologia oli tasainen ja se oli helppo puhdistaa myös vedellä. Värin valmistaja ei suositellut painatusta muoville. Väri vaati riittävän kuivauksen, mutta sen kosteudenkesto oli hyvä. Kiiltotaso jäi alhaiseksi, samoin värillisyyys poikkesi liuotinväreistä, mikä johtui Sericolin käyttämästä DIN-skaalasta. Tilauksesta Sericol toimittaa myös Eurooppa-skaalaa, mutta minimiäuserän koko on 10 kiloa.

#### **Seriväri Aqua 6000 ja 6000 vinyl:**

Suomalainen Seriväri otettiin mukaan vertailukohdaksi ulkomaisiin väreihin. Valmistaja ilmoittaa tuottavansa värejä harrastaja- ja tuotantokäyttöön. Vesipohjaisten värien valikoima onkin Serivärillä laaja ja valmistaja on tehnyt pitkään kehitystyötä niiden parissa. Serivärin tuotantokäyttöön soveltuvat vesipohjaiset värit paperille ja muoville ovat Seriväri Aqua 6000 ja Seriväri Aqua 6000 vinyl. Serivärin orgaanisten liuottimien pitoisuus on keskitasoa ja värissä on havaittavissa selvä ammoniakkin haju. Molemmat värit ovat ns. hyytelövärejä, joiden elastinen hyytelöluonne on aikaansaatu karboksimeetyyliselluloosan (CMC) käytöllä värissä. Värien viskositeetti on korkea, eivätkä ne vaadi ohennusta. Värillisyydsarvot olivat molemmissa väreissä lähimpänä liuotinvärejä, mutta värien kiilto oli hyvin alhainen. Värit kiinnittyvät hyvin, tosin ne vaativat melko pitkän kuivumisajan. Valmistajan vinyyliväri ei kokeissa käytetyissä kuivumisajoissa kiinnittynyt

ollenkaan, vaan kuoriutui rullalle hankaustesteissä. Kaikenkaikkiaan värit jättivät hieman ”harrastelijavärimäisen” vaikutelman.

### **Marabou Maguagloss ja Libragloss:**

Maraboun valmistamista väreistä testattiin englantilaiset Maguagloss ja uudentyyppinen Libragloss. Maguaglossin liuotinainepitoisuus on tasolla 15-20% ja värille tunnusomaista on voimakas ammoniakkinen haju. Väri oli helppo puhdistaa vedellä. Värin viskositeetti on korkea ja se muistuttaa paljon hyytelövärejä. Väri on myös melko pitkää ja sen tiksotropia on korkea. Kuivuminen tapahtuu tehokkaasti mutta kiinnittyminen muoviin on keskitasoa heikompaa, samoin myös kosteuden kesto. Kiilto ja värillisuus ovat keskitasoa. Libragloss on uudentyyppinen, valmistajansa mukaan ns. haitaton seripainoväri. Ominaisuuksiltaan väri muistuttaa hyvin paljon perinteisiä liuotinvärejä. Orgaaniset voimakkaat liuottimet on värissä kuitenkin korvattu haitattomimmilla. Väri ei valmistajan mukaan sisällä mitään Saksan tai EEC:n haitalliseksi tai ärsyttäväksi luokittelemia aineita. Väri siis toimii kuten liuotinväri, mutta on ympäristöystävällisempi. Värin ominaisuuksien testaus oli rajoitettua, sillä laboratoriosta puuttui liuotinvärien pesumahdollisuus.

### **Pröll Aqua-jet FGL:**

Pröllin valmistama Aqua-jet FGL oli väreistä kallein. Vesipohjaisista väreistä sen arveltiin myös sisältävän eniten orgaanisia liuottimia. Tästä aiheutui luultavasti myös se, että väriä oli hankala puhdistaa vedellä. Viskositeetiltaan väri oli juoksevinta, eikä sitä tulisi enää ohentaa lisää ennen käyttöä. Väri kuivui ongelmitta ja sen tarttuminen muoville ja kosteudenkesto olivat hyviä. Myös nämä seikat vahvistavat käsitystä värin vähäisestä vesipitoisuudesta. Värillä on korkea kiilto, mutta väristä ei valmisteta nelivärisarjaa.

### **Wiederhold WFP ja WFK:**

Coates valmistaa saksalaista seripainoväriä Wiederhold WFP:tä, joka on tarkoitettu paperille ja WFK:ta, joka soveltuu muovialustoille. Värit sisältävät todennäköisesti keskivertoa enemmän liuottimia ja WFP haisee voimakkaasti ammoniakille sekä oli testatuista väreistä lyhin. Molemmat värit ovat vaikeahkot puhdistaa vedellä, samoin on varottava värien yliohtamista. Värit kestävät hyvin kosteutta, mutta vaativat riittävän kuivauksen. Testatuista muoviväreistä WFK oli parhaiten PVC-muoville tarttuvaa. Molemmilla väreillä oli erittäin korkea kiilto.



TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
TALVIAKATEEN ALUE  
KÄSITTELY  
KÄSITTELY

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Graafisen tekniikan  
laboratorio